



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO EM AUTOCARROS ARTICULADOS EM CIRCUITO URBANO

Sílvia Vanessa dos Santos Barbosa

Orientadora: Professora Doutora Maria Luísa Pontes da Silva Ferreira de Matos (FEUP)

Arguente: Professora Doutora Emília Rosa Quelhas Moreira da Costa (FEUP)

Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista (FEUP)

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado aos agradecimentos a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para tornar realidade a concretização desta dissertação de mestrado.

À Professora Doutora Maria Luísa Matos, pela sua orientação, sabedoria, apoio e inteira disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e na resolução de problemas que surgiram ao longo da elaboração da dissertação, bem como por todas as palavras de incentivo e a amizade demonstrada.

À minha grande colega Engenheira Luciana Pedrosa por todo o apoio e companheirismo e pela total disponibilidade na colaboração para a realização desta dissertação.

Ao Professor Engenheiro Paulo Costa, que em conjunto com a Doutora Maria Luisa Matos e a Engenheira Luciana Pedrosa permitiram a utilização das Folhas de Campo que elaboraram para a recolha dos dados das observações e medições realizadas, sem os quais não seria possível a concretização deste trabalho.

Às minhas grandes amigas Francisca Gouveia e Cristiana Reis, às melhores colegas de trabalho, Sofia Ventura, Adriana Simões e Joana Cordeiro, e aos meus cunhados e colegas de casa, Márcia Sousa e Bruno Sousa, por toda a compreensão, amizade e por estarem sempre presentes em todos os momentos ao longo desta etapa.

Por último, dirijo um agradecimento muito especial à minha mãe e ao meu namorado, pelo apoio incondicional, pelo incentivo, amor e paciência demonstrados ao longo de todo este percurso.

A eles eu dedico este trabalho.

Obrigado!

RESUMO

Os condutores profissionais de autocarros urbanos ficam constantemente expostos a vibrações mecânicas que se transmitem ao corpo inteiro e que podem provocar desde uma sensação de desconforto, como a incapacidade para executar as tarefas no local de trabalho, ou ao aparecimento de diversos problemas de saúde reversíveis e irreversíveis.

Com o desenvolvimento tecnológico, nas ultimas décadas surgiram diferentes tipologias de veículos no sentido de melhorar os serviços de transporte de passageiros, mas para os quais, muitas vezes, não foram tidos em conta os fatores de segurança e higiene ocupacional para os condutores.

Com o presente trabalho pretendeu-se estudar o perfil de exposição de vibrações de corpo inteiro (VCI) dos condutores profissionais em veículos articulados, em situações reais de trabalho. Neste estudo, foram tidos em conta variáveis como as características dos condutores e as irregularidades do piso.

Foi objetivo específico deste estudo identificar padrões de vibração em função do tipo de pavimento, avaliar os efeitos decorrentes da exposição para a saúde dos condutores e avaliar o efeito da transmissibilidade pela superfície do assento do autocarro.

O estudo envolveu doze condutores e dois percursos, C e D, com diferentes tipos de pavimento: asfalto, asfalto irregular, empedrado e lombas. As medições efetuaram-se de acordo com a ISO 2631-1 (1997) para o cálculo da exposição diária, $A(8)$, e a ISO 2631-5 (2007) para o cálculo do parâmetro SEAT e o parâmetro S_{ed} e R.

As vibrações com valores mais elevados, foram predominantes no eixo z em todas as medições efetuadas. As irregularidades do piso desempenharam um papel considerável na transmissão das vibrações e ainda que não tenha sido possível avaliar a vibração transmitida aos condutores em cada tipo de pavimento de forma isolada, constatou-se que em pavimento empedrado e asfalto irregular os níveis de aceleração foram mais elevados que nos pavimentos asfaltados recentemente. Comparando o percurso C e D, verificou-se que no percurso D os valores de $A(8)$ foram superiores aos obtidos no percurso C, no entanto, nenhum dos percursos ultrapassou o valor de ação ($0,5 \text{ m.s}^{-2}$) nem o valor limite de exposição ($1,15 \text{ m.s}^{-2}$).

No que respeita à avaliação dos efeitos da vibração na coluna lombar, de acordo com as normas referidas, os condutores avaliados por esta monitorização apresentam uma baixa probabilidade de sofrer efeitos negativos na saúde, pois os valores do parâmetro R obtidos, foram sempre inferiores a 0,8.

Em relação ao parâmetro SEAT apenas o condutor I do percurso C e os condutores D, C e A do percurso D ultrapassaram os 100%, o que significa que o assento teve um efeito amplificador para estes condutores, mas para os restantes teve um efeito atenuador, pois os valores obtidos foram todos inferiores a 100%.

Palavras-chave: vibrações de corpo inteiro, condutores profissionais, autocarros articulados, transmissibilidade, exposição diária.

ABSTRACT

The professional bus drivers, during the tasks that are delegated to them, are exposed to mechanical vibrations that are transmitted to the whole body (WBV) which can create a simple feeling of discomfort, inability to perform the task or the occurrence of several reversible and irreversible health problems.

With the technological development in recent decades emerged different vehicle types in order to improve passenger services, but the factors of safety and occupational hygiene for drivers were not taken into account.

The present work aims to study the exposure profile of WBV in the articulated bus drivers in real work situations. In this study were taken into account variables such as the characteristics of the drivers and surface irregularities.

It was intended to identify vibration patterns depending on the pavement type and evaluate the effect of transmissibility in the seat surface.

The study involved eleven drivers and two routes, C and D, with different types of terrain: asphalt, uneven asphalt, cobblestones and bumps. It was used the methodological recommendations of ISO 2631-1 (1997) standard, for the calculation of daily exposure, and the ISO 2631-5 (2004) standard, for the calculation of SEAT, S_{ed} and R.

The vibrations were prevalent in the z-axis in all measurements completed. The surface irregularities played a considerable role in the transmission of vibrations and although it has not been possible to relate directly to vibration transmitted to drivers by the type of pavement, it was found that in cobblestones, bumps and uneven asphalt acceleration levels were higher than in recently asphalt paved surface.

Comparing the route C and D, the route D had higher daily exposure values, but in any case, it was exceeded the value of share (0.5 m.s^{-2}) and the limit of daily exposure (1.15 m.s^{-2}) and the values of exposures for the two routes were of the same magnitude for all drivers.

As regards to the assessment of the effects of vibration in the lumbar spine, according to standards, drivers evaluated by this monitoring have a low probability of suffering negative effects on health, since the values of R parameter are all below 0, 8.

Analyzing Seat Effective Amplitude Transmissibility (SEAT), the seats increase the transmission of WBV to the drivers I, D, C and A, because they were over 100% and reduces the transmission of the WBV to the others drivers, because the obtained values were all under 100%.

Keywords: whole body vibration, professional drivers, articulated buses, transmissibility, daily exposition

ÍNDICE

PARTE 1	1
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 A Segurança e Higiene Ocupacionais e o Setor dos Transportes	3
1.2 Apresentação do tema e estrutura da dissertação	4
2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 Enquadramento Tecnológico.....	7
2.2 Enquadramento Legal e Normativo	7
2.2.1 Enquadramento Legal	7
2.2.2 Enquadramento Normativo.....	9
2.3 Enquadramento Científico.....	9
2.3.1 Revisão bibliográfica	9
2.3.2 Caracterização da vibração	15
2.3.3 Vibrações de corpo inteiro em condutores de autocarros urbanos	18
2.3.4 Metodologias de análise da exposição a vibrações de corpo inteiro	18
2.3.4.1 Aplicação da Norma ISO 2631 – 1: 1997.....	19
2.3.4.2 Aplicação da Norma 2631-5: 2004.....	20
2.3.5 Equipamentos de Medição de Vibrações de Corpo Inteiro	22
2.3.6 Estimativa das incertezas de medição das vibrações de corpo inteiro	23
2.3.6.1 Componentes da incerteza	23
2.3.6.2 Cálculo da incerteza combinada	24
2.3.6.3 Cálculo da incerteza expandida	24
2.3.7 Os Efeitos na saúde devido a vibrações de corpo inteiro	25
2.3.8 Estratégias de redução e controlo da exposição a vibrações de corpo inteiro	27
3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Objetivos da Dissertação	31
3.2 Materiais e Métodos	32
3.2.1 Variáveis selecionadas: Veículos, Tipo de Pavimento e Condutores.....	32
3.2.2 Metodologia.....	36
3.2.2.1 Equipamentos de Medição.....	36

3.2.2.2	Recolha dos dados	38
3.2.2.3	Análise dos dados	40
PARTE 2	41
4	RESULTADOS	43
4.1	Introdução	43
4.2	Perfil de Exposição Ocupacional	43
4.3	Exposição Diária a Vibrações e Transmissibilidade do Assento	50
4.4	Estimativa das incertezas associadas à exposição diária	51
4.5	Avaliação dos efeitos na coluna lombar	54
5	DISCUSSÃO	57
5.1	Perfil de Exposição Ocupacional	57
5.2	Exposição Diária a vibrações e Transmissibilidade do Assento	58
5.3	Estimativa das incertezas associadas à exposição diária a vibrações	60
5.4	Avaliação dos efeitos na coluna lombar	60
5.5	Estratégias preventivas de controlo da exposição a VCI	61
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	63
6.1	Conclusões	63
6.2	Perspetivas Futuras	64
7	REFERÊNCIAS	65
8	ANEXOS	1
8.1	Anexo 1 – Resultados obtidos com base nas referências bibliográficas	1
8.2	Anexo 2 – Folha de Campo do percurso C	4
8.3	Anexo 3 – Folha de Campo do percurso D	12
8.4	Anexo 4 –Valores intermédios do cálculo das Incertezas do A(8) para todos os condutores	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma para seleção dos estudos incluídos, com base na metodologia Prisma.	10
Figura 2. Publicações por ano identificadas na base de dados Scopus.	12
Figura 3. Sistema de coordenadas da vibração mecânica como definido pela norma ISO 2631:1997, (ISO2631-5, 1997).	17
Figura 4. Frequências de ressonância de diferentes órgãos do corpo humano (adaptado de Ruiz & Muñoz, 1999).	17
Figura 5. Tipologia de autocarro em estudo: Autocarro articulado de marca Volvo B9LA.	32
Figura 6. Modelo da cadeira de motorista dos autocarros articulados em estudo ⁽³⁾	32
Figura 7. Mapa do Percurso C1.	34
Figura 8. Mapa do Percurso C2.	34
Figura 9. Mapa do Percurso D1.	35
Figura 10. Mapa do Percurso D2.	36
Figura 11. Equipamento SV106 da Svantek ⁽⁴⁾	37
Figura 12. Sonómetro 01dB Blue Solo ⁽⁵⁾	37
Figura 13. Acelerómetro colocado no assento.	39
Figura 14. Acelerómetro colocado no piso.	39
Figura 15. Condutor G no percurso C no dia 16/10/2015.	44
Figura 16. Condutor I no percurso C no dia 16/10/2015.	45
Figura 17. Condutor J no percurso C no dia 21/10/2015.	45
Figura 18. Condutor K no percurso C no dia 21/10/2015.	46
Figura 19. Condutor L no percurso C no dia 21/10/2015.	46
Figura 20. Condutor E percurso D dia 03/ 11/2015.	47
Figura 21. Condutor D percurso D dia 03/ 11/2015.	47
Figura 22. Condutor C percurso D dia 04/11/2015.	48
Figura 23. Condutor F percurso D dia 04/11/2015.	48
Figura 24. Condutor A percurso D dia 12/11/2015.	49
Figura 25. Condutor B percurso D dia 12/11/2015.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores de exposição legislados para o sistema corpo inteiro.	8
Tabela 2. Variáveis estudadas em publicações identificadas na revisão bibliográfica.	14
Tabela 3. Caracterização dos percursos.	33
Tabela 4. Data, horário e tempos de medição por percurso e condutor.	38
Tabela 5. Caracterização da amostra de condutores da monitorização de VCI.	43
Tabela 6. Valores de RMS, A(8) e SEAT para os condutores que realizaram o percurso C.	51
Tabela 7. Valores de RMS, A(8) e SEAT para os condutores que realizaram o percurso D.	51
Tabela 8. Componentes da incerteza e Incerteza combinada obtidas para o condutor G.	52
Tabela 9. Parâmetro A(8) no assento com a majoração de incerteza para os condutores do percurso C.	54
Tabela 10. Parâmetro A(8) no assento com a majoração de incerteza para os condutores do percurso D.	54
Tabela 11. Valores dos parâmetros S_{ed} e R para os condutores do percurso C.	56
Tabela 12. Valores dos parâmetros S_{ed} e R para os condutores do percurso D.	56

INDICE DE TABELAS EM ANEXO

Tabela em Anexo 1. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8) e S_{ed} na literatura com a variação do tipo de percurso.....	1
Tabela em Anexo 2. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8) e SEAT na literatura com a variação do tipo de autocarro.	2
Tabela em Anexo 3. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8), S_{ed} e SEAT na literatura com a variação do tipo de percurso e condutor.....	2
Tabela em Anexo 4. Valores obtidos para os parâmetros a_w ($m.s^{-2}$), D_k e SEAT na literatura com a variação do tipo de assento.....	3
Tabela em Anexo 5. Valores obtidos para os parâmetros A(8) e VDV(8) na literatura com a variação do tipo de assento, percurso e peso dos condutores.....	3
Tabela em Anexo 6. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor G.	20
Tabela em Anexo 7. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor I.....	20
Tabela em Anexo 8. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor J.	21
Tabela em Anexo 9. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor K.	21
Tabela em Anexo 10. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor L.	22
Tabela em Anexo 11. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor A.	22
Tabela em Anexo 12. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor B.	23
Tabela em Anexo 13. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor C.	23
Tabela em Anexo 14. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor D.	24
Tabela em Anexo 15. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor E.	24
Tabela em Anexo 16. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor F.....	25

INDICE DE EQUAÇÕES

$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$ Equação 1	19
$A(8) = k a_w \sqrt{\frac{T}{T_0}}$ Equação 2.....	19
$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 T_i}$ Equação 3	20
$D_k = [\sum_i A_{ik}^6]^{1/6}$ Equação 4.....	21
$D_{kd} = D_k \left[\frac{T}{t_m} \right]^{1/6}$ Equação 5	21
$D_{kd} = \left[\sum_{j=1}^n D_{kj}^6 \frac{t_{dj}}{t_{mj}} \right]^{1/6}$ Equação 6.....	21
$S_{ed} = [\sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6]^{1/6}$ Equação 7.....	21
$R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ed} \cdot N^{1/6}}{S_{ui} - c} \right)^6 \right]^{1/6}$ Equação 8.....	21
$SEAT_{r.m.s} \% = \frac{a_{wz} \text{ assento}}{a_{wz} \text{ piso}} \times 100$ Equação 9	22
$s(a_w) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{j=1}^n (a_w(t) - \bar{a}_w)^2}$ Equação 10	23
$u(x_i) = s(\bar{a}_w) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}}$ Equação 11	23
$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T}{T_0} \times \frac{a_{wi}}{A(8)}$ Equação 12.....	24
$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$ Equação 13.....	24
$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{a_{wi}^2}{A(8) \times T_0 \times 2}$ Equação 14.....	24
$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2$ Equação 15	24
$U = k \times u_{combinada}^2(y)$ Equação 16	25
$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$ Equação 17.....	25

GLOSSÁRIO

A(8)	Exposição diária a vibrações
CAE	Classificação das Atividades Económicas
C_i	Coeficiente de Sensibilidade
D_k	Dose de aceleração de exposição às vibrações de corpo inteiro
D_{kd}	Dose diária média de exposição às vibrações de corpo inteiro
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NP	Norma Portuguesa
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor eficaz ponderado)
SEAT	<i>Seat Effective Amplitude Transmissibility</i>
S_{ed}	Dose equivalente de compressão na coluna
S	<i>Desvio Padrão</i>
T	Duração diária total de exposição a vibrações
t_m	Período de tempo de medição das vibrações
u_x	<i>Incerteza</i>
u_y^2	<i>Incerteza combinada</i>
VA	Valor de Ação
VCI	Vibrações de Corpo Inteiro
VDV	Valor de Dose de Vibração
VLE	Valor Limite de Exposição
ν	Graus de liberdade
ν_{eff}	Graus de liberdade efetivos

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Segurança e Higiene Ocupacionais e o Setor dos Transportes

Atualmente, o contexto mundial do trabalho é assinalado pela globalização das economias e dos mercados. Esta dinâmica demonstra a necessidade de uma nova abordagem por parte das empresas em desenvolver e inovar, em especial nos domínios da gestão, dos recursos humanos, das tecnologias, da organização do trabalho e da formação.

A nível económico e empresarial, o setor dos transportes tem desempenhado um papel de grande relevo no desenvolvimento do país e concomitantemente tem contribuído de forma substancial para a coesão territorial e social na diminuição das assimetrias regionais e no impedimento do despovoamento das regiões do interior do país.

Os custos de transporte são parte fundamental na definição do preço dos bens e serviços. Na medida em que, se estes se reduzem, os preços dos bens tendem a diminuir e, com isso, o comércio aumenta rapidamente criando não só a necessidade de aumento de produção industrial, como também da circulação de bens e serviços, com impacto na mobilidade dos cidadãos potenciando a melhoria das condições e qualidade de vida dos cidadãos, no acesso à educação, saúde, trabalho, turismo, lazer, entre outros.

Além disso, o setor dos transportes coletivos corresponde a uma forma de racionalizar a mobilidade através do uso de transporte individual, reduzindo o consumo de energia e recorrendo a meios de transportes menos poluentes.

Em 2011, o setor dos transportes e armazenagem representava 2,1% das empresas, 4,3% do pessoal ao serviço, 5,2% do volume de negócios e 6,7% do valor acrescentado do total nacional. Este setor emprega diretamente cerca de 10 milhões de pessoas e é responsável por cerca de 5% do PIB.⁽¹⁾

Em termos de transporte rodoviário de passageiros, é de realçar a crescente expansão que tem sido observada nos últimos anos, correspondendo ao transporte público mais utilizado com cerca de 60% em relação aos ferroviários, elétricos, fluviais e aéreos.

Segundo a ACT (Autoridade para as Condições de Trabalho), o sector dos transportes rodoviários é um dos que apresenta maiores riscos. As estatísticas de acidentes da base de dados europeia CARE indicam que, anualmente, morrem nas estradas europeias cerca de 10 000 pessoas, dos quais, em média, 1300 são motoristas de transporte de passageiros e veículos “pesados” de mercadorias.⁽²⁾

(1) Fonte: MEE, A Competitividade e Internacionalização da Economia Portuguesa: Diagnóstico prospetivo, 2013

(2) Fonte: Fonte: Autoridade para as Condições de Trabalho (ACT). Obtido a julho de 2016, em [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/Campanhas/Campanhasrealizadas/SegurancaSaudenoTrabalhodaConducaoAutomovelProfissional/Paginas/default.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/Campanhas/Campanhasrealizadas/SegurancaSaudenoTrabalhodaConducaoAutomovelProfissional/Paginas/default.aspx)

No entanto, os condutores profissionais também se encontram expostos a outros tipos de riscos, nomeadamente físicos, como o ruído, as vibrações e a exposição as substâncias perigosas, e riscos psicossociais, como fadiga, stress, tensão e sobrecarga mental, perturbações do sono, entre outros.

Quando comparados com outros grupos ocupacionais, os condutores profissionais são dos que apresentam uma maior taxa de absentismo e uma maior incidência de perturbações no local de trabalho, tanto a nível psicológico como a nível das perturbações músculo-esqueléticas (lesões nas costas, joelhos, pescoço e ombros).

A realização do trabalho por turnos, também pode acentuar alguns sintomas, nomeadamente o stress, maus hábitos alimentares, perturbações do sono, pausas inadequadas e descanso insuficiente.

1.2 Apresentação do tema e estrutura da dissertação

As vibrações encontram-se presentes em quase todas as atividades que fazem parte do dia-a-dia dos trabalhadores, particularmente na construção e obras públicas, indústrias extrativas, exploração florestal, fundições e transportes.

No setor dos transportes, os condutores da maior parte dos veículos motorizados, durante a realização das tarefas que lhes são delegadas, estão expostos a vibrações mecânicas de maior ou menor intensidade que se transmitem ao corpo inteiro. Como resultado, traduzem-se efeitos mais ou menos graves, que podem ir desde uma simples sensação de desconforto, à incapacidade para executar as tarefas, ou ao aparecimento de diversos problemas de saúde.

Em Portugal, existem estudos recentes que quantificam a exposição ocupacional a vibrações mecânicas em condutores de autocarros urbanos *standard*. Contudo, existem estudos internacionais publicados que demonstram que existem diversos fatores externos que poderão afetar os resultados de exposição dos condutores a este risco, como a tipologia do autocarro, nomeadamente os autocarros articulados, autocarros de dois pisos, miniautocarros, autocarros de percursos longos, entre outros.

A presente dissertação tem como objetivo principal quantificar a exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI) nos condutores de autocarros articulados em situação real de trabalho, uma vez que apenas existe um estudo publicado por Thamsuwan, et. Al. de 2012, referente a esta tipologia de autocarro em condições pré-definidas não avaliando a exposição em contexto real com todas as variáveis intrínsecas e extrínsecas que poderão ampliar ou atenuar a transmissão das vibrações, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012).

Em termos estruturais, o presente trabalho encontrar-se-á dividido em 2 partes e subdividido em 7 Capítulos:

1ª Parte - Enquadramento teórico do tema em estudo e motivações para o mesmo:

- **Capítulo 1 – Introdução:** enquadramento teórico do tema em estudo;
- **Capítulo 2 – Estado da arte:** contextualização do estudo, revisão sistemática da literatura. Revisão histórica e enquadramento legal e normativo aplicável.
- **Capítulo 3 – Objetivos, materiais e métodos:** descrição dos objetivos implícitos na realização da dissertação, apresentação dos materiais necessários e dos métodos escolhidos para recolha e avaliação de dados.

2ª Parte: Desenvolvimento do estudo, discussão de resultados e conclusões:

- **Capítulo 4 – Resultados:** Resultados obtidos e aplicação de exemplos de cálculo;
- **Capítulo 5 – Discussão:** Análise dos resultados obtidos e comparação a literatura e o enquadramento legal;
- **Capítulo 6 – Conclusões:** Resumo das principais conclusões;
- **Capítulo 7 – Limitações e Perspetivas Futuras:** Limitações decorrentes do trabalho realizado, que poderão servir de base para propostas de melhoria em trabalhos futuros.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Enquadramento Tecnológico

A presente dissertação foi desenvolvida com o apoio de uma equipa técnica no terreno e com a colaboração de uma Empresa de Transportes Coletivos do Porto.

A Empresa em estudo presta um serviço de transporte público urbano de passageiros na Área Metropolitana do Porto, em articulação concertada com os demais operadores rodoviários, ferroviário e de metro ligeiro, contribuindo para a efetiva mobilidade das pessoas, disponibilizando uma alternativa competitiva ao transporte individual privado e gerando, pela sua atividade, benefícios sociais e ambientais num quadro de racionalidade económica e na busca da melhoria contínua do seu desempenho.

Esta é a única Empresa de transportes rodoviários de passageiros em Portugal com certificação de Sistemas de Gestão de Qualidade, Ambiente e Segurança e Saúde no Trabalho (OSHAS 18001/NP 4397:2007). Este procedimento de certificação fortaleceu a Empresa em termos de responsabilidade social e permite-lhe oferecer as melhores condições de trabalho a todos os colaboradores, para um elevado nível de segurança e saúde.

A frota de autocarros urbanos é a maior em Portugal com uma linha de autocarros muito alargada e diversificada, composta por autocarros *standard*, articulados, de dois pisos, miniautocarros e elétricos.

Este trabalho focou-se na análise da transmissão da vibração em contexto real de trabalho em 12 condutores profissionais de autocarros articulados, em dois tipos de percursos com diferentes condições de pavimentos.

2.2 Enquadramento Legal e Normativo

2.2.1 Enquadramento Legal

O setor de atividade de transporte rodoviário de passageiros encontra-se enquadrado na subclasse 49310, designada Transportes terrestres, urbanos e suburbanos, de passageiros, do Decreto-Lei n.º 381/2007, de 14 de novembro, referente à Classificação Portuguesa de Atividades Económicas (CAE - Rev. 3), no Anexo I.

O regime jurídico, em matéria da promoção da Segurança e Saúde no Trabalho, que estabelece os procedimentos necessários ao acesso e exercício da atividade transversal a todos os setores, e em particular ao setor dos transportes rodoviários de passageiros, corresponde à Lei n.º 3/2014, de 28 de janeiro, a qual procede à segunda alteração da Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro. Nesta Lei são várias as referências a riscos profissionais físicos, nomeadamente:

- Artigo 5.º ponto 3 alínea c), “A prevenção dos riscos profissionais deve assentar numa correta e permanente avaliação de riscos e ser desenvolvida segundo princípios, políticas, normas e programas que visem, nomeadamente, a determinação das substâncias, agentes ou processos que devam ser proibidos, limitados ou sujeitos a autorização ou a controlo da autoridade competente, bem como a definição de valores limite de exposição do trabalhador a agentes químicos, físicos e biológicos e das normas técnicas para a amostragem, medição e avaliação de resultados”;

- Artigo 15.º alínea f), “faz parte das obrigações gerais do empregador assegurar, nos locais de trabalho, que as exposições aos agentes químicos, físicos e biológicos e aos fatores de risco psicossociais não constituem risco para a segurança e saúde do trabalhador”;

- Artigo 48.º, o qual refere que “são proibidas ou condicionadas aos trabalhadores as atividades que envolvam a exposição aos agentes químicos, físicos e biológicos ou outros fatores de natureza psicossocial que possam causar efeitos genéticos hereditários, efeitos prejudiciais não hereditários na progenitura ou atentar contra as funções e capacidades reprodutoras masculinas ou femininas, suscetíveis de implicar riscos para o património genético, referidos na presente lei ou em legislação específica, conforme a indicação que constar dos mesmos”.

O Decreto-Lei nº 46/2006 de 24 de fevereiro, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/44/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, respeitante às prescrições mínimas de proteção da saúde e segurança dos trabalhadores em circunstâncias de exposição aos riscos devidos a agentes físicos, nomeadamente as vibrações. O presente diploma estabelece valores limite de exposição e de ação de exposição a vibrações transmitidas ao corpo inteiro e determina os princípios gerais da avaliação dos riscos a vibrações e um conjunto de medidas preventivas a aplicar sempre que sejam atingidos ou ultrapassados esses valores. O valor limite de exposição e o valor de ação de exposição encontram-se representados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de exposição legislados para o sistema corpo inteiro.

Valor limite de exposição - VLE (m.s^{-2})	Valor de ação de exposição - VA (m.s^{-2})
1,15	0,5

Este sistema legal constitui uma base de referência para o empregador, de forma a que este faça uma correta avaliação da exposição dos trabalhadores e para que possa precaver e atuar no sentido a que os valores limite não sejam ultrapassados em qualquer circunstância e de forma a reduzir o nível de exposição dos trabalhadores ao mais baixo possível, considerando que este se mantenha sempre inferior aos limites afixados. O empregador deverá, igualmente, efetuar consulta aos trabalhadores, assim como disponibilizar informação e formação aos mesmos.

2.2.2 Enquadramento Normativo

As normas ISO destinadas à avaliação da vibração no corpo humano, reconhecidas a nível mundial, são apresentadas de seguida:

- ISO 8041:1990, *Human response to vibration - Measuring instrumentation. International Standard Organization.*
- ISO 2631-1:1997, *Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration - Part 1: General requirements. International Standard Organisation.*
- ISO 2631-3:1985, *Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 3: Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0,1 to 0,63 Hz"*
- ISO 2631-4:2001, *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems*
- ISO 2631-5:2004, *Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. - "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks"*

Para a elaboração da dissertação recorreu-se à versão portuguesa da norma de avaliação do sistema de transmissão de vibrações pelo corpo inteiro, nomeadamente a NP ISO 2631-1:2007 e a ISO 2631-5:2004.

2.3 Enquadramento Científico

2.3.1 Revisão bibliográfica

De forma a ter conhecimento da quantidade e qualidade de estudos que existem da temática abordada, o trabalho foi iniciado com a realização de uma revisão bibliográfica com base na metodologia de revisão sistemática PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Posto isto, foi elaborada uma pesquisa na base de dados Scopus a partir de combinações de palavras-chave ligadas ao tema a abordar na dissertação com o objetivo de averiguar o que já foi estudado sobre este assunto. As palavras-chaves foram seleccionadas duas a duas e a pesquisa foi condicionada à procura em títulos, resumos e palavras-chaves dos artigos. De seguida, são apresentados os quatro pares de palavras-chaves utilizados na pesquisa.

1º - "Vibration" + "Bus driver";

2º - "Whole body Vibration" + "Bus";

3º - "Bus driver"; + "Musculoskeletal Disorders"

4.º - “Vibration” + “articulated bus”

Após esta primeira pesquisa foram encontrados 206 artigos. De seguida, condicionou-se a pesquisa a artigos escritos na língua inglesa e/ou portuguesa e procedeu-se à exclusão de todos os duplicados.

Por fim, verificou-se o nome dos autores, a revista, a qualidade do resumo apresentado e o enquadramento do tema abordado na dissertação. Nesta análise verificou-se a existência de uma grande parte de artigos que incidiam principalmente sobre o estudo de vibração acústica, modelos computacionais, tecnologia automóvel, entre outros, que uma vez que não se enquadravam na temática em estudo não foram considerados. Desta forma, obtiveram-se 21 artigos para a elaboração da revisão bibliográfica para a presente dissertação.

Na Figura 1 encontra-se o fluxograma com a revisão da aplicação da metodologia PRISMA.

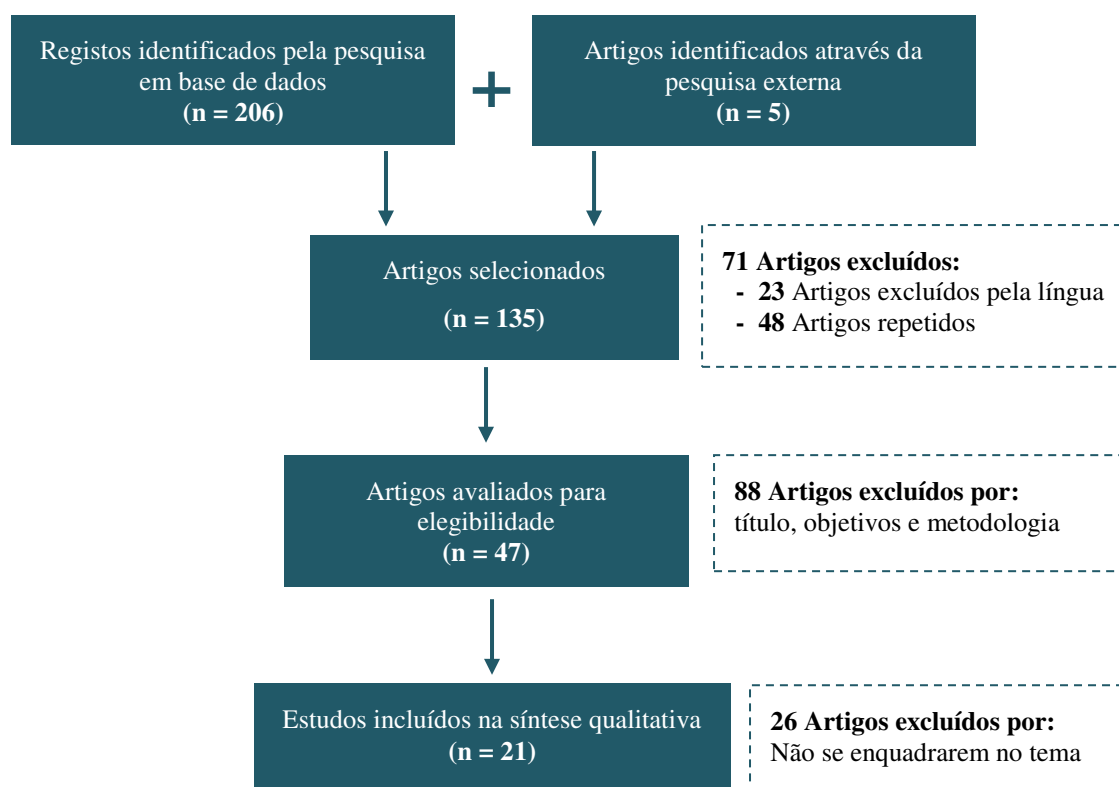


Figura 1. Fluxograma para seleção dos estudos incluídos, com base na metodologia Prisma.

Com a realização da revisão bibliográfica, seguindo a metodologia PRISMA, verificou-se que ao longo dos últimos anos houve um significativo incremento do número de estudos relacionados com vibrações e as palavras chave selecionadas.

Devido à constante evolução dos conhecimentos foram selecionados os trabalhos mais recentes para se obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos da temática abordada, as lacunas existentes e a contribuição da investigação para o desenvolvimento do conhecimento.

Além disso, optou-se por recuar no tempo até aos primeiros trabalhos elaborados, no sentido de se fazer uma resenha histórica do tema abordado.

O primeiro estudo identificado na pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido por Thomas Clarkson no ano 1913, em Londres. Este terá sido o primeiro estudo publicado que fazia uma breve referência à importância da vibração sentida pelos passageiros e motoristas em autocarros. O estudo baseou-se na comparação entre os autocarros de motor a vapor e os autocarros de motor de combustão interna, sendo que o desgaste das rodas provocado pela vibração e a vibração sentida no interior do autocarro foram fatores considerados na seleção do melhor tipo de autocarro, (Clarkson, 1913).

Em 1954, Ross A. McFarland realizou o primeiro estudo sobre a condução em segurança nas estradas. Sendo o fator humano um dos fatores mais preponderantes, pretendeu-se estudar as condições do local de trabalho nos condutores de camiões, nomeadamente as vibrações entre outros fatores físicos. Este estudo teve o intuito de estudar e prevenir as ocorrências de acidentes automóveis e garantir a segurança do condutor, (McFarland, 1954).

Em 1974, o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) nos Estados Unidos, elaborou um importante estudo de vibrações nos postos de trabalho, correspondendo ao lançamento desta grande temática a nível mundial. O estudo foi concebido para identificar o número e tipos de trabalhadores expostos a vibrações e para obter mais dados científicos sobre os efeitos na saúde devido a este tipo de exposição. Com base na pesquisa realizada, determinou-se que o transporte (incluindo condutores de camiões e motoristas, operadores de equipamentos pesados, e os agricultores que dirigem tratores e outros veículos agrícolas) representa a maior categoria profissional de exposição à vibração, (Lehmann, 1974).

Em 1992, Bovenzi & Zadini desenvolveram o primeiro estudo sobre os sintomas lombares relatados por condutores de autocarros urbanos expostos a vibração de corpo inteiro através de inquéritos. O estudo demonstrou que houve um aumento de ocorrências de sintomas lombares com o aumento da exposição de condutores profissionais a vibração de corpo inteiro, (Bovenzi & Zadini, 1992).

Posteriormente, a partir de 1995, houve um considerável aumento de publicações até 2014. Analisando as datas dos artigos selecionados, sem a separação dos artigos excluídos e dos que não se enquadravam no tema, verifica-se que o incremento registado até 2014 se deveu em grande parte ao grande desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, relacionado com a publicações de muitos estudos de modelos computacionais de tecnologia automóvel e engenharia mecânica avançada, não indo de encontro com os objetivos em estudo.

Na Figura 2, é possível visualizar a evolução ao longo dos anos do número de estudos realizados e publicados e a relação entre os artigos selecionados inicialmente e os incluídos na presente dissertação.

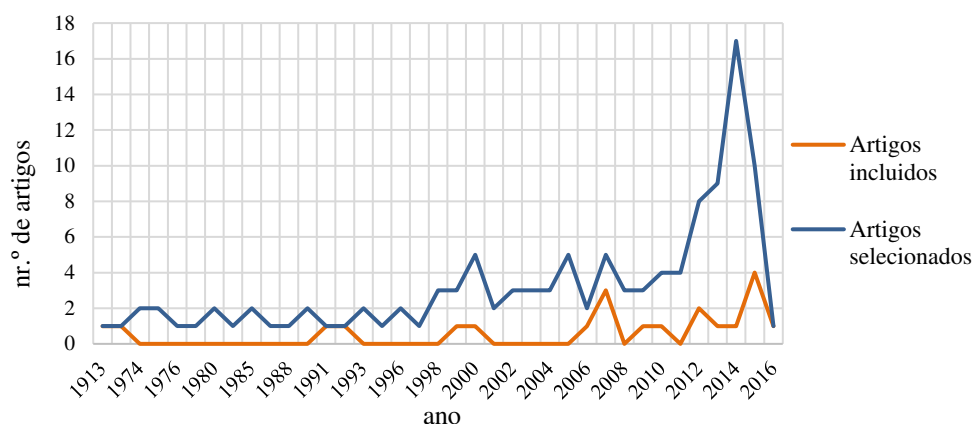


Figura 2. Publicações por ano identificadas na base de dados Scopus.

A grande maioria dos estudos identificados nesta revisão bibliográfica foram realizados nos Estados Unidos, Itália e Índia com as publicações dos trabalhos de Blood Ryan P., Bovenzi M., Okunribido e Thamsuwan.

Alguns estudos foram realizados com base em casos reais de condutores expostos a vibrações de corpo inteiro (VCI). Estes estudos são de extrema importância uma vez que estes têm em consideração todos os constrangimentos envolvidos e permitem avaliar as condições reais de trabalho, (Melo & Miguel, 2000; O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007; Bovenzi, 2009; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

No entanto, os estudos realizados com percursos de teste padronizados e sem a entrada e saída de passageiros, centrando-se em determinadas variáveis, como o tipo de veículo ou o tipo de assento e o condutor, assumem também uma especial importância, uma vez que permitem compreender a influência das variáveis na intensidade das vibrações transmitidas ao condutor de forma isolada e como tal não devem ser rejeitados, (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Blood, Yost, E., & Ching, 2015).

Em termos do estudo das vibrações transmitidas aos condutores profissionais existem várias variáveis que poderão influenciar, nomeadamente o tipo de autocarro, os percursos, os tipos de pavimentos e as características do próprio condutor. Na presente pesquisa bibliográfica foram identificadas as 10 publicações mais recentes disponíveis, desde 2000, que realizaram estudos de vibrações em condutores de autocarros tendo em conta diferentes variáveis que poderão ser úteis para comparação com os resultados da presente dissertação e que se enquadravam melhor com os objetivos de estudo.

No estudo elaborado por Melo & Miguel, 2000, foi selecionado um percurso de 2,5 km com piso em asfalto e empedrado e manteve-se em todos os ensaios o mesmo condutor com 48 anos, 77 kg e 6 anos de experiência profissional, (Melo & Miguel, 2000).

No estudo realizado por O. Okunribido, et. Al., 2007, foi efetuada a medição de vibrações em 12 (doze) condutores profissionais em contexto real de trabalho. O percurso de ida e volta era de cerca de 1h e 30 min e foi avaliada a forma de condução dos condutores, bem como a sua postura ao longo da realização dos percursos. A percentagem de cada tipo de piso ao longo do percurso foi, igualmente, determinada com base no tempo gasto na deslocação sobre esse piso, com o auxílio de um cronómetro, (O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007)

Segundo o estudo publicado por Bovenzi, 2009, foi realizada a medição de vibrações em 12 condutores profissionais em autocarros *standard*, tendo-se realizado medições em diferentes contextos de forma a ter em conta a variação da incerteza associada: (1) medições com um mesmo veículo conduzido por três condutores ao longo de um ciclo normal de trabalho (ida e volta), (2) vários veículos conduzidos por um único operador e (3) um único veículo conduzido por um operador com diferentes tipos de piso ao longo de um ciclo normal de trabalho, (Bovenzi, 2009).

No estudo elaborado por Blood et. Al., 2010, foi utilizado um percurso de teste padronizado com 12 km de ruas de cidade, 29 km de autoestrada nova, 10 km de autoestrada antiga e 1km de percurso circular contendo 10 lombas. Neste estudo, o objetivo foi comparar a transmissão de vibrações em três tipos de assentos para os diferentes tipos de piso mencionados, (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010).

O estudo realizado por Lewis & Johnson, 2012, consistiu na medição de VCI em 13 condutores profissionais em autocarros de longas distâncias. O percurso de medição foi realizado sem a entrada e saída de passageiros, e incluía 12 km de ruas de cidade, 1 km de lombas e 29 km de autoestrada, (Lewis & Johnson, 2012).

O estudo elaborado por Thamsuwan et. Al. , 2012, consistiu na realização de medições de VCI em 11 (onze) condutores profissionais em autocarros de longas distâncias e em 13 (treze) condutores profissionais em autocarros *standard* e articulados. Neste estudo foi, também, utilizado um percurso de teste padronizado com 12 km de ruas de cidade, 14 km de autoestrada nova, 10 km de autoestrada antiga e 1 km circular contendo 10 lombas com 4 metros de largura. O percurso foi realizado num horário com trânsito moderado e demorou aproximadamente 75 minutos, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012).

Segundo o estudo elaborado por Thamsuwan, et. Al., 2013, de forma a comparar a transmissão de VCI em dois tipos de autocarros (de longas distâncias e de dois pisos), realizou-se a medição das vibrações num grupo de 12 (doze) condutores profissionais para a primeira tipologia de autocarro e num grupo de 15 (quinze) condutores profissionais para a segunda tipologia. Todos os condutores realizaram o mesmo percurso de teste padronizado com 12 km de ruas de cidade, 14 km de autoestrada nova, 10 km de autoestrada antiga e 1 km circular de lombas com 4 metros de largura, (Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

O estudo elaborado por Jonsson, et. Al., 2014, baseou-se na medição de VCI em 12 (doze) autocarros de dois tipos, *standard* e de longa distância, com dois tipos de assentos, com e sem suspensão, com passageiros e com tráfego regular. Neste estudo, foram realizadas 54 medições, com cerca de 26 minutos cada, e o percurso de teste padrão incluía autoestradas, ruas da cidade

e lombas redutoras de velocidade, e uma distância típica de condução diária de 500 km ao longo de um período de oito horas de um turno de trabalho, (Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014).

No estudo de Barreira, et. Al., 2015, realizou-se a medição de VCI em autocarros *standard* com 3 (três) condutores profissionais em contexto real de trabalho. Neste estudo, foram realizadas medições em 3 (três) percursos distintos em ruas de cidade, mas com características de piso muito semelhantes, cerca de 60% de piso asfalto e 40% de piso empedrado, (Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

Segundo o estudo realizado por Blood, et. Al., 2015, condicionou-se a medição das VCI a 12 (doze) condutores profissionais, saudáveis e do género masculino. Posteriormente dividiu-se os condutores em duas categorias com base no seu peso, inferior a 102 kg e superior a 128 kg. O percurso de medição incluía três tipos de piso, ruas de cidade, autoestrada e piso empedrado, (Blood, Yost, E., & Ching, 2015).

As variáveis estudadas, com base na revisão bibliográfica, podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis estudadas em publicações identificadas na revisão bibliográfica.

Autor	Tipo de autocarro	Percurso/Tipo de Pavimento	Tipo de assento	Passageiros
(Melo & Miguel, 2000)	-	Asfalto empedrado Parado	-	Sim
(O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007)	Miniautocarro Autocarro de dois andares Autocarro <i>standard</i>	Marcha lenta asfalto calçada	-	Sim
(Bovenzi, 2009)	Autocarro <i>standard</i>	-	-	Sim
(Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010)	Autocarros <i>standard</i> (Low floor bus)	Autoestradas Lombas Ruas de cidade	Comparação entre: dois assentos de espuma (padrão) de diferentes fornecedores e um assento de silicone	Não
(Lewis & Johnson, 2012)	Autocarros de longas distâncias (High floor bus)		-	-
(Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012)	Autocarro articulado Autocarro <i>standard</i> Autocarro de longas distâncias		Assento de espuma com suspensão de ar	Não
(Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013)	Autocarros de longas distâncias (High floor bus)		-	Não
(Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014)	Autocarros <i>standard</i> (Low floor bus)		Comparação entre dois assentos: com e sem suspensão de ar	Sim
(Barreira, Matos, & Baptista, 2015)	Autocarros <i>standard</i>	Asfalto calçada	-	Sim
(Blood, Yost, E., & Ching, 2015)	-	Autoestradas Ruas de cidade Ruas com piso irregular	Comparação entre dois assentos: <i>air ride suspension seat</i> e <i>EM – active suspension seat</i>	Não

Como é visível na Tabela 2, apenas o estudo realizado por Thamsuwan et. Al., 2012, fez a análise de VCI em autocarros articulados. No entanto, é de salientar que este estudo foi realizado em condições pré-definidas, sem a entrada e saída de passageiros e com o trânsito controlado, que poderá traduzir-se em variações significativas quando comparadas com situações reais de trabalho, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012).

A presente dissertação terá como foco o estudo das vibrações transmitidas aos condutores de autocarros articulados em situações reais de trabalho, portanto, com a entrada e saída de passageiros, a influência normal do trânsito automóvel diário e a variação do tipo de pavimento de acordo com os percursos que os condutores realizam no seu dia-a-dia.

Os estudos mencionados na Tabela 2 utilizaram a metodologia de análise estabelecida de acordo com a norma NP ISO 2631-1:2007 e em alguns casos a norma ISO 2631-5:2004, como é pretendido com a presente dissertação, para determinar os níveis de vibração de corpo inteiro em condutores de autocarros e verificar se existem diferenças nos níveis de vibração e transmissibilidade do assento em diferentes tipos de estrada, diferentes tipos de autocarro e de assento ou até mesmo de condutor.

Desta forma, com base na revisão bibliográfica e no enquadramento legal e normativo, foi possível realizar uma contextualização da temática em estudo, que é apresentada no tópico seguinte.

2.3.2 Caracterização da vibração

Centrando-se a presente dissertação na investigação da influência da exposição a VCI em autocarros articulados, inicia-se o enquadramento teórico com uma tentativa de definir o conceito de vibração, assim como das grandezas físicas que lhe estão associadas e as metodologias seguidas segundo as normas NP ISO 2631-1:2007 e a ISO 2631-5:2004, de forma a que todo o restante corpo da tese possa ser abordado com o pressuposto de que o leitor possui o entendimento necessário dos conceitos envolvidos e expressões numéricas citadas.

Em termos mais genéricos, a vibração é definida pela sua magnitude (tradicionalmente descrita usando aceleração, expressa em $m.s^{-2}$) e frequência (o número de vezes por segundo que o corpo vibrátil se move para trás e para a frente, expressa em ciclos por segundo, ou hertz (Hz)), (Ruiz & Muñoz, 2015).

A Diretiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações), distingue duas formas de exposição, nomeadamente:

“«*Vibrações transmitidas a todo o organismo*», que consiste em vibrações mecânicas que, quando transmitidas a todo o organismo, implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial patologia da região lombar e lesões da coluna vertebral”, comumente designadas por vibrações de corpo inteiro (VCI);

“«*Vibrações transmitidas ao sistema mão-braço*», as vibrações mecânicas que, quando transmitidas ao sistema mão-braço, implicam riscos para a saúde e para a segurança dos

trabalhadores, em especial perturbações vasculares, lesões osteo-articulares, ou perturbações neurológicas ou musculares”.

Posto isto, a vibração mecânica proveniente de ferramentas ou processos motorizados que entram no corpo através das mãos são denominadas vibrações transmitidas ao sistema mão-braço ou vibrações mão-braço e a vibração de corpo inteiro pode ser definida como a vibração que afeta uma grande parte do peso do corpo quando este repousa sobre uma superfície, (Miguel, 2010).

Na maior parte das situações, a exposição a VCI ocorre através do assento, o qual é frequentemente acompanhado por uma transmissão de vibrações, igualmente, através das costas do mesmo. O tipo de resposta do corpo humano às vibrações externas varia consoante a sua posição, nomeadamente de pé, sentado ou deitado, e o ponto de aplicação das forças vibratórias, (Miguel, 2010).

A vibração do corpo humano é medida em unidades de aceleração (m.s^{-2} ou rms) de uma banda de frequência de terços de oitava na gama de frequências pretendidas. No entanto, o nível de vibração pode também ser medido em unidades logarítmicas (decibéis de aceleração), com uma referência de 10^{-6} m.s^{-1} , (Miguel, 2010).

As vibrações devem ser medidas isoladamente de acordo com as direções de um sistema de coordenadas ortogonal, uma vez que originam respostas biodinâmicas diferentes para cada eixo de medição. Uma vez que o espaço em análise é tridimensional, há a necessidade primária de assumir sistemas de coordenadas para descaracterizar a vibração nas três direções que o definem (x, y, z), (Griffin, 1990).

Os sistemas de coordenadas biodinâmicos podem ser divididos em dois tipos: anatómicos ou basicêntricos. O que os distingue é, sobretudo, a definição da origem do sistema de eixos, uma vez que os métodos de determinação das direções do movimento são similares. Os sistemas de coordenadas anatómicos são definidos em relação a pontos anatómicos específicos e são correntemente mais utilizados em laboratórios de pesquisa que incidem principalmente sobre o estudo dos efeitos da vibração no corpo humano. Por sua vez, os sistemas de coordenadas basicêntricos (pelos quais as normas em vigor se orientam) são definidos em relação às superfícies, que estão em contacto com o corpo e, como a sua própria designação indica, centram-se nas bases dos apoios em questão, (Griffin, 1990).

Para análise do sistema são essencialmente consideradas três principais situações ou, mais especificamente, posições corporais, nomeadamente, a pessoa sentada, deitada e em pé, Figura 3, (Griffin, 1990).

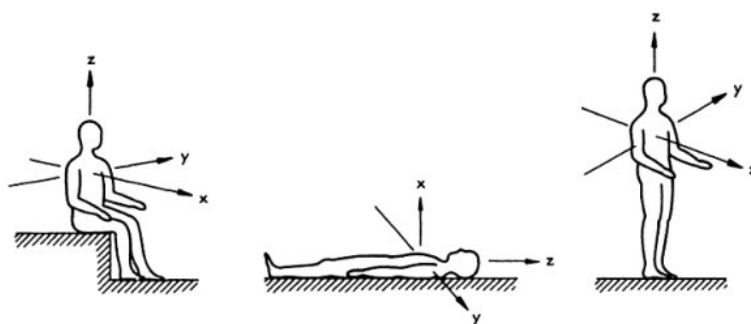


Figura 3. Sistema de coordenadas da vibração mecânica como definido pela norma ISO 2631:1997, (ISO2631-5, 1997).

Na posição de pé, as vibrações são transmitidas através dos pés e na posição deitado as vibrações entram por várias partes do corpo humano, principalmente pela pélvis, costas e cabeça, (Miguel, 2010).

Quando a vibração é provocada unicamente por um deslocamento inicial em relação à posição de equilíbrio estático ou por uma velocidade inicial designa-se por vibração livre. Se a vibração do sistema resultar duma força externa que o faz vibrar continuamente, designa-se vibração forçada. Neste tipo de vibrações, se a frequência de vibração coincidir com a frequência natural do sistema, produz-se o efeito de vibração de ressonância. A frequência de ressonância resulta na amplificação da vibração, comprometendo a integridade das estruturas que suportam o sistema, nomeadamente o corpo humano, (Ruiz & Muñoz, 2015).

O corpo humano pode ser representado em termos mecânicos por um sistema simplificado, composto por vários subsistemas massa-mola-amortecedor apresentado na Figura 4.

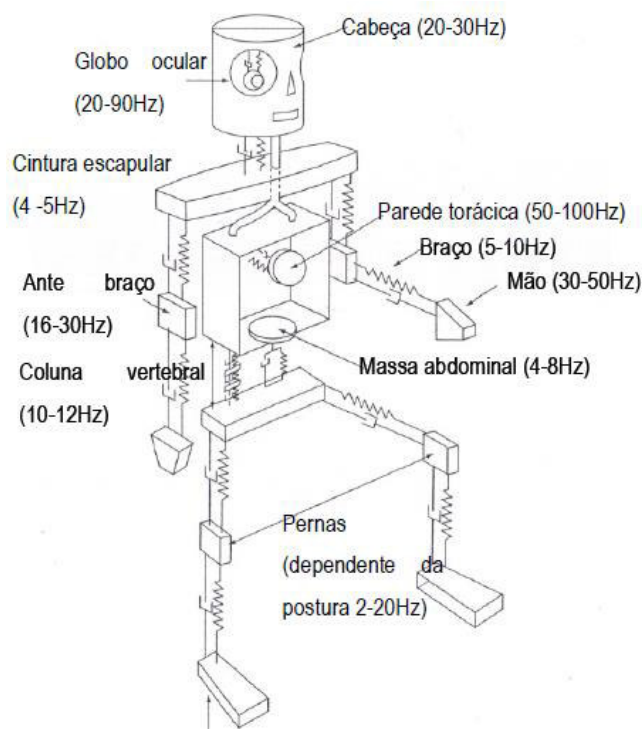


Figura 4. Frequências de ressonância de diferentes órgãos do corpo humano (adaptado de Ruiz & Muñoz, 1999).

O subsistema tórax-abdômen, como visível na Figura 4, apresenta um efeito particular de ressonância na gama de 3 a 6 Hz e é muito difícil o isolamento das vibrações que afetem um indivíduo de pé ou sentado. No subsistema cabeça-pescoço-ombros existe também um efeito de ressonância na região dos 20 aos 30 Hz, (Miguel, 2010).

Na zona dos 60 aos 90 Hz existem também perturbações de ressonância do globo ocular e na zona dos 100 aos 200 Hz devidas ao efeito de ressonância no subsistema maxilar inferior-crânio, (Miguel, 2010).

2.3.3 Vibrações de corpo inteiro em condutores de autocarros urbanos

Muitos estudos demonstraram que os condutores de autocarros urbanos fazem parte do grupo de trabalhadores que se encontram potencialmente expostos a VCI, (Bovenzi & Hulshof, 1999)

A intensidade das vibrações pode variar significativamente consoante o tipo de pavimento, o design do assento e o condutor, nomeadamente o peso, posição ou postura de condução, experiência profissional e velocidade de circulação, (Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

Os percursos de autocarros estudados são na maioria dos casos compostos por 3 (três) tipos de troços, nomeadamente autoestradas, lombas e estradas de cidade, que por sua vez possuem diferentes tipos de pavimentos, classificados como pavimentos em asfalto e empedrado, que se traduzem em intensidades de vibração transmitida aos condutores muito dispare, (Barreira, Matos, & Baptista, 2015; Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Melo & Miguel, 2000).

A seleção de uma metodologia adequada para análise das VCI transmitidas aos condutores profissionais de autocarros urbanos é essencial de forma a que os riscos a que os trabalhadores possam estar expostos sejam convenientemente identificados e permitam definir medidas de controlo a ser tomadas.

2.3.4 Metodologias de análise da exposição a vibrações de corpo inteiro

A grande maioria das publicações analisadas na revisão bibliográfica recorrem à norma NP ISO 2631-1:2007 que estabelece critérios de medição e avaliação das VCI, (Melo & Miguel, 2000; Bovenzi, 2009; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

Alguns estudos recorrem simultaneamente à norma ISO 2631-5:2004 que permite avaliar a probabilidade de efeitos adversos na saúde dos condutores que têm uma exposição prolongada a VCI, (Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

Na aplicação da norma NP ISO 2631-1:2007, os sensores para análise da exposição dos condutores a VCI são colocados na superfície do assento e em alguns casos no encosto do

assento, uma vez que são as vias mais representativas de transmissão de vibrações, (Melo & Miguel, 2000)

Nos estudos que recorrem à aplicação da norma ISO 2631-5:2004, são feitas medições na superfície do assento e no piso, numa perspetiva de avaliação de um parâmetro que traduz o efeito de transmissão de vibração através do assento (SEAT) abordado na norma, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Barreira, Matos, & Baptista, 2015)

A aplicação das duas normas em conjunto permite realizar uma análise mais completa da exposição dos condutores às VCI.

A utilização destas normas segue metodologias definidas pelas mesmas, quer na medição das vibrações, quer nos procedimentos de cálculo dos parâmetros, como será demonstrado de seguida.

2.3.4.1 Aplicação da Norma ISO 2631 – 1: 1997

Para a avaliação ocupacional das vibrações, consideraram-se os métodos de quantificação da vibração no sistema corpo inteiro relativamente à saúde, de acordo com a norma NP ISO 2631-1:2007. As orientações definidas na norma aplicam-se à vibração na gama de frequências entre 0,5 Hz e 80 Hz que é transmitida, através do assento, ao corpo sentado como um todo.

Segundo a norma NP ISO 2631-1:2007 a avaliação da vibração deve incluir sempre medições do valor eficaz ponderado da aceleração (r.m.s.), expresso em $m.s^{-2}$. A aceleração eficaz ponderada (a_w) é calculada de acordo com a Equação 1.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo que, $a_w(t)$ é a aceleração ponderada de translação em função do tempo ($m.s^{-2}$) e T é a duração da medição (s).

A determinação do nível de exposição dos trabalhadores é realizada com base no cálculo da exposição pessoal diária, para um período de oito horas, expressa como aceleração contínua equivalente, $A(8)$, em $m.s^{-2}$, obtida a partir da Equação 2.

$$A(8) = k a_w \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo que, k é o fator multiplicativo, a_w é a aceleração eficaz ponderada ($m.s^{-2}$); T é a duração diária total da exposição às vibrações (horas ou segundos) e T_0 é a duração de referência de 8 horas (28 800 segundos).

O fator k para vibrações horizontais (eixos x e y) corresponde a 1,4 e é obtido usando a ponderação em frequência W_d e para vibrações verticais (eixo z) corresponde a 1,0 e é obtido usando a ponderação em frequência W_k .

A aceleração eficaz ponderada, a_w , é determinada para cada eixo x, y e z. Posteriormente a determinação da vibração é efetuada com base no valor eficaz mais elevado das acelerações ponderadas em frequência, medidas segundo os três eixos ortogonais.

Quando a exposição decorre durante dois ou mais períodos de tempo com diferentes amplitudes e durações, uma vez que no período laboral o condutor normalmente efetua vários percursos, em diferentes tipos de pavimentos e, conseqüentemente, está exposto a diferentes amplitudes de vibrações, o parâmetro A (8) pode ser calculado segundo a Equação 3.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 T_i} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo que, a_{wi} é a amplitude da vibração para uma exposição a vibrações e o T_i é o tempo parcial de exposição às vibrações e o n é o número de exposições parciais às vibrações.

Com a determinação do valor de A(8) é possível comparar com os valores limite regulamentares, segundo o Decreto-lei 46/2006 de 24 de fevereiro, como descrito no enquadramento normativo.

A norma estabelece que a medição das vibrações ocupacionais seja feita a partir de uma dimensão triaxial (segundo o eixo do x, y e z), sendo que o eixo predominante é consensualmente identificado como sendo o eixo z, (Melo & Miguel, 2000; O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007; Bovenzi, 2009; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Barreira, Matos, & Baptista, 2015). Sendo que, em alguns estudos em determinados percursos o valor de ação foi ultrapassado neste eixo, (Melo & Miguel, 2000; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

As medições para proceder à avaliação das VCI são realizadas com a aplicação de sensores na superfície do assento, podendo ser também colocadas no encosto do assento e no piso do veículo.

No Anexo 1, encontra-se uma síntese dos valores de aceleração eficaz (RMS) ou do parâmetro A (8), dos estudos analisados. Deste modo, será possível comparar os valores obtidos na literatura com os resultados da presente dissertação.

2.3.4.2 Aplicação da Norma 2631-5: 2004

Uma outra vertente de análise passa pela avaliação dos efeitos na saúde de pessoas expostas a VCI durante muito tempo, de acordo com a norma ISO 2631-5:2004.

Esta norma é indicada para exposição humana a múltiplos impactos mecânicos medidos no assento quando a pessoa está sentada e aplica-se aos casos em que se pretende avaliar os efeitos na coluna lombar. Aquando da utilização da mesma, assume-se que a pessoa exposta à vibração está sentada, segundo uma postura reta, e que não se levanta voluntariamente durante a exposição.

Segundo o documento normativo, e de uma forma generalizada, a partir da dose de aceleração, procede-se à normalização da mesma para um tempo médio de exposição diária e calcula-se o parâmetro que quantifica a dose equivalente diária de compressão na coluna (S_{ed}).

A dose de aceleração (D_k), em metros por segundo quadrados, é calculada com base na Equação 4.

$$D_k = [\sum_i A_{ik}^6]^{1/6} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo que, A_{ik} é o pico da aceleração e k corresponde ao eixo de medição (x, y ou z)

Para avaliar os efeitos na saúde durante uma jornada laboral (oito horas de exposição diária), determina-se a dose diária média (D_{kd}), em metros por segundo ao quadrado, com recurso à Equação 5.

$$D_{kd} = D_k \left[\frac{T}{t_m} \right]^{1/6} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo que, T é a duração de exposição diária e t_m é o período durante o qual a dose de aceleração foi medida.

A Equação 5 pode ser aplicada quando o parâmetro A(8) total é representada por um único período de medição. Assim, quando o A(8) é composto por dois ou mais períodos (n) de diferentes magnitudes, a dose de aceleração, em metros por segundo quadrados, é calculado com recurso à Equação 6.

$$D_{kd} = \left[\sum_{j=1}^n D_{kj}^6 \frac{t_{dj}}{t_{mj}} \right]^{1/6} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo que, t_{dj} é a duração da exposição diária para a condição j e t_{mj} é o período durante o qual a dose de aceleração (D_{kj}) foi medida.

Através de um modelo biomecânico, com base em dados experimentais, estabeleceu-se uma relação linear entre a tensão de compressão devida aos choques e a resposta do pico de aceleração na coluna vertebral. Essa relação traduz-se na compressão estática equivalente diária na coluna (S_{ed}), em MPa, e determina-se de acordo com a Equação 7.

$$S_{ed} = [\sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6]^{1/6} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo que, D_{kd} é a dose de aceleração diária e m_k assume valores recomendados. Estes estão definidos com os seguintes valores: $m_x = 0,015$ MPa (m.s⁻²), $m_y = 0,035$ MPa (m.s⁻²) e $m_z = 0,032$ MPa (m.s⁻²).

Para avaliar os efeitos na saúde relacionados com a dose de aceleração da resposta humana, define-se um fator R. O cálculo deste fator tem em conta o avanço da idade e a diminuição da força, com o tempo de exposição, e calcula-se utilizando a Equação 8.

$$R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ed} \cdot N^{1/6}}{S_{ui} - c} \right)^6 \right]^{1/6} \quad \text{Equação 8}$$

Sendo que, S_{ed} é a compressão estática equivalente na coluna; N é o número de dias de exposição por ano; i é o contador de anos; n é o número de anos de exposição; C é uma constante que representa a tensão estática em função da força gravitacional e, para posturas de

condutores, assume um valor de 0,25 MPa; S_{ui} é a tensão de compressão lombar de uma pessoa com idade de $(b + i)$ anos e é dada pela expressão: $S_{ui} = 6,75 - 0,066(b + i)$ e b é a idade na qual a exposição começa.

A fim de se proceder à avaliação dos efeitos na saúde, o documento normativo estabeleceu as seguintes condições:

- $R < 0,8$: baixa probabilidade de efeitos negativos na saúde
- $R > 1,2$: elevada probabilidade de efeitos negativos na saúde

Para se avaliar o comportamento dinâmico do assento, estudou-se a transmissibilidade da vibração com base no parâmetro SEAT (*Seat Effective Amplitude Transmissibility*). Este traduz a razão entre os valores da aceleração ponderada obtidos para o eixo z, respetivamente, sobre o assento e sobre o piso do veículo. Deste modo, o cálculo é feito segundo a Equação 9.

$$SEAT_{r.m.s} \% = \frac{a_{wz}^{assento}}{a_{wz}^{piso}} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

A resposta dinâmica do assento às vibrações transmitidas foi identificada como um fator preponderante para controlar a exposição a VCI. A extensão da variação da eficácia (atenuação ou amplificação) do assento em veículos suscita ainda algum desconhecimento e estudos desta índole exigem que se identifique em que medida é que a dinâmica do assento influencia a exposição ocupacional a VCI dos condutores, (Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

No Anexo 1, também se apresenta uma síntese dos valores do parâmetro da dose equivalente de compressão na coluna (S_{ed}), e do parâmetro SEAT dos estudos identificados.

2.3.5 Equipamentos de Medição de Vibrações de Corpo Inteiro

As medições de vibrações devem seguir os critérios mencionados no Decreto-lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro e nas normas NP ISO 2631-1:2007 “Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais.” e EN 14253:2003+A1:2007 “Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health – Practical guidance”.

Antes de realizar as medições deve-se determinar o “perfil de exposição”, no qual devem ser identificadas a natureza e a localização de cada operação, bem como o tempo de exposição às vibrações que lhe está associado, com vista a identificar as operações que mais contribuem para o valor global de $A(8)$ e definir as condições em que se devem efetuar as medições.

O instrumento de medição utilizado na maioria dos estudos no registo de vibrações é o acelerómetro piezoelétrico triaxial. Estes aparelhos apresentam uma elevada sensibilidade às vibrações e apresentam, no global, melhores características e maior estabilidade nas medições, relativamente a outros tipos de transdutores. Outra vantagem é o facto de apresentar uma resposta linear ao longo da gama de frequências mais sensíveis ao homem, (Bovenzi, 2009;

Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014).

Para que as vibrações mensuradas pelos acelerómetros sejam registadas é necessário conectá-los a registadores de movimentos, os analisadores.

Estes registadores funcionam como sistemas de aquisição de dados, que poderão ser posteriormente acedidos para consulta, e requerem uma prévia programação.

Existem diversos tipos de acelerómetros disponíveis no mercado, de vários tamanhos e pesos. No entanto, é preferível tentar obter um cujas dimensões e peso sejam suficientemente pequenas para a sua presença não alterar/prejudicar o registo da vibração a ser medida e não condicionar o trabalhador na execução da sua rotina de trabalho, não a alterando. O rigor ou precisão da medição das vibrações é dependente quer da qualidade do acelerómetro, quer do equipamento de registo utilizado.

2.3.6 Estimativa das incertezas de medição das vibrações de corpo inteiro

A incerteza de medição corresponde à dispersão dos valores atribuídos ao resultado final. Desta forma, para se garantir que o parâmetro $A(8)$ não ultrapassa o VA e VLE os resultados devem ter sempre em conta a majoração da incerteza associada ao $A(8)$ obtido com base nas medições realizadas, (Guia Relacre 21, 2008).

2.3.6.1 Componentes da incerteza

Segundo o modelo apresentado no Guia 21 da Relacre, existem 4 (quatro) fontes de incerteza na medição das VCI que devem ser consideradas para o cálculo do $A(8)$, nomeadamente:

1ª Fonte - Incerteza associada à repetibilidade da medição das vibrações

Esta fonte de incerteza é caracterizada a partir da dispersão dos valores medidos em condições de repetibilidade e é uma incerteza de tipo A, na qual se admite que apresenta uma distribuição normal, sendo calculada a partir do desvio padrão experimental da média ($s(a_w)$), Equação 10.

$$s(a_w) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{j=1}^n (a_w(t) - \bar{a}_w)^2} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo que, $a_w(t)$ corresponde à aceleração ponderada de translação em função do tempo (m.s^{-2}); n é número de medições e \bar{a}_w corresponde à média da aceleração eficaz ponderada, também designada RMS (m.s^{-2}). Posto isto, a incerteza padrão ($u(x_i)$) poderá ser calculada a partir da Equação 11.

$$u(x_i) = s(\bar{a}_w) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}} \quad \text{Equação 11}$$

Sendo que, $s(a_w)$ corresponde ao desvio padrão e o n é número de medições.

O coeficiente de sensibilidade, C_i , poderá ser calculado a partir da Equação 12.

$$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T}{T_0} \times \frac{a_{wi}}{A(8)} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo que, T é a duração diária total da exposição às vibrações (horas ou segundos), T_0 é a duração de referência de 8 horas (28 800 segundos), a_{wi} corresponde à média da aceleração eficaz ponderada no eixo i e o $A(8)$ que corresponde à aceleração contínua equivalente.

2ª Fonte - Incerteza associada ao sistema de medição

Esta fonte de incerteza baseia-se no valor do erro máximo estabelecido pela norma EN ISO 8041:2005, ou seja, de 6%, (ISO8041, 2005). Trata-se de uma incerteza de tipo B, com distribuição retangular, calculada a partir da Equação 13.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad \text{Equação 13}$$

Sendo que, a corresponde valor do erro máximo, equivalente a 6% do valor medido.

O coeficiente de sensibilidade é calculado da mesma forma que na Incerteza associada à repetibilidade da medição das vibrações, segundo a Equação 12.

3ª Fonte - Incerteza associada à duração da exposição

Esta fonte de incerteza pode ser estimada por meio de uma distribuição retangular, utilizando um valor do erro máximo de 4% do valor medido, Equação 13.

O coeficiente de sensibilidade é calculado a partir da Equação 14.

$$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{a_{wi}^2}{A(8) \times T_0 \times 2} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo que, T_0 é a duração de referência de 8 horas (28 800 segundos), a_{wi} corresponde à média da aceleração eficaz ponderada no eixo i e o $A(8)$ que corresponde à aceleração contínua equivalente.

4ª Fonte - Incerteza associada ao arredondamento

A incerteza devida ao arredondamento pode ser, também, estimada por meio de uma distribuição retangular, a partir da Equação 13. Sendo que para esta fonte de incerteza, a corresponde a meia divisão do valor final apresentado.

O coeficiente de sensibilidade será igual à unidade (1).

2.3.6.2 Cálculo da incerteza combinada

A incerteza combinada pode ser calculada com base na Equação 15.

$$u_{combinada}^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u(x_i)^2 \quad \text{Equação 15}$$

2.3.6.3 Cálculo da incerteza expandida

A incerteza expandida (U) é calculada a partir do produto da incerteza combinada pelo fator de expansão, Equação 16.

$$U = k \times u_{combinada}^2(y) \quad \text{Equação 16}$$

Sendo que, k corresponde ao fator de expansão, e é obtido a partir do número de graus de liberdade efetivos, v_{eff} , para uma distribuição t de Student, considerando um intervalo de confiança unilateral com uma probabilidade de 95 %.

O número de graus de liberdade efetivos pode ser calculado a partir da expressão de Welch-Satterthwaite, Equação 17.

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad \text{Equação 17}$$

Sendo que, $u_i(y)$ é a contribuição para a incerteza padrão associada à estimativa da grandeza y , e v_{eff} é o número de graus de liberdade efetivos.

O resultado pode ser representado na forma $y \pm U$. No entanto, para efeitos de comparação com os VA e VLE legalmente definidos, ao valor de $A(8)$ deve ser adicionado o módulo da incerteza, $y + U$, com este resultado arredondado para 2 casas decimais.

2.3.7 Os Efeitos na saúde devido a vibrações de corpo inteiro

Os condutores profissionais encontram-se expostos a uma grande variedade de riscos físicos e psicológicos na realização da sua atividade, como a exposição prolongada a VCI, fadiga, stress, movimentos repetitivos, entre outros, (Bovenzi & Hulshof, 1999).

A resposta do ser humano à exposição de VCI conduz essencialmente a 5 (cinco) efeitos, nomeadamente: diminuição do conforto, impacto na saúde, interferência com as atividades diárias e enjoos, (Griffin, 1990; Miguel, 2010).

As consequências provenientes da exposição a VCI não é de fácil análise, uma vez que podem fazer-se sentir quer do ponto de vista fisiológico, quer do ponto de vista psicológico e variam com a gama de frequências a que o trabalhador se encontra exposto, (Griffin, 1990; Miguel, 2010).

Alguns dos sintomas decorrentes da exposição são: sensação geral de desconforto, sensações no maxilar inferior, contrações musculares, dores no peito e dores abdominais para uma gama de frequências até 10 Hz, e sensações a nível da cabeça e na garganta, aumento do ritmo respiratório, urgência em urinar e defecar, aumento do tônus muscular e alterações no sistema cardiovascular para uma gama de frequências que pode variar entre os 10 Hz e os 20 Hz. A longo prazo, podem ainda surgir alterações patológicas, como por exemplo, afeções crónicas da coluna e das articulações, disfunções ao nível dos sistemas cardiovascular, musculoesquelético, cardiopulmonar, metabólico, endócrino, nervoso e gastrointestinal, (Miguel, 2010).

Para além disso, períodos de exposição prolongados a vibrações podem causar irritação, stress, fadiga e problemas relacionados com a concentração nos trabalhadores, (Blood & Johnson, 2012).

A sensação de desconforto devido à exposição a vibrações é frequentemente sentida pelos condutores profissionais, que aumenta com o aumento da magnitude e da duração de exposição a vibrações, (Sekulic, Dedovic, Rusov, & Obradovic, 2016).

Desde a década de 90 que têm sido desenvolvidos estudos que relacionam o risco de aparecimento de lesões musculoesqueléticas em condutores de autocarros urbanos com a exposição prolongada a VCI, que tende a criar graves repercussões em termos económicos e de qualidade de vida. Alguns dos estudos demonstram que nos Estados Unidos e em países Europeus, a prevalência de lesões musculoesqueléticas lombares apresenta valores que variam na gama de 40-82%, (Bovenzi & Hulshof, 1999).

A exposição dos condutores a VCI a longo prazo tem sido reconhecida como um fator de stress mecânico para o desenvolvimento acelerado de doenças degenerativas da coluna vertebral, dores lombares e o prolapso dos discos intervertebrais, (Johanning, 1991; Bovenzi & Hulshof, 1999; Okunribido, Magnusson, & Pope, 2006; Yasobant, Chandran, & Reddy, 2015).

As lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho, são lesões dolorosas causadas nos músculos, ossos, tendões e outros tecidos moles que se formam devido à atividade no local do trabalho. Estas lesões são responsáveis pela morbilidade em muitas populações que trabalham e são conhecidas por causar problemas ocupacionais significativos com crescentes custos de compensação e de saúde, produtividade reduzida e menor qualidade de vida, (Yasobant, Chandran, & Reddy, 2015).

Além disso, a postura inadequada, a utilização de assentos impróprios e a fadiga muscular têm sido descritos como cofatores do aparecimento das lesões musculoesqueléticas, (Johanning, 1991; Tamrin, et al., 2007).

Para além da exposição a VCI, a repetição de movimentos, o descanso insuficiente e a aplicação de posturas pouco corretas poderão contribuir para o aparecimento ou agravamento de lesões lombares, (C. A. Lewis & P. W. Johnson, 2012).

Desta forma, alguns estudos desenvolvidos aplicam um conjunto de metodologias, nomeadamente questionários ou entrevistas aos trabalhadores, medição direta das vibrações com recurso a aparelhos de medição próprios e através da observação direta das condições de trabalho com o intuito de avaliar de forma completa todos os fatores envolvidos e compreender quais os predominantes em cada situação, (O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007; Tamrin, et al., 2007; Bovenzi, 2009; Yasobant, Chandran, & Reddy, 2015).

A relação dose resposta é determinada pela duração da exposição e pela intensidade das vibrações, e ambas propiciam o aumento do risco de lesões. Os condutores profissionais de transportes públicos das grandes áreas metropolitanas são os que apresentam mais queixas, quando comparados com outros profissionais, (Bovenzi, 2009; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

2.3.8 Estratégias de redução e controlo da exposição a vibrações de corpo inteiro

A criação de estratégias preventivas para reduzir a exposição a VCI pode contribuir significativamente para a diminuição do risco de lesões musculoesqueléticas, (Tiemessen, Hulshof, & Frings-Dresen, 2007).

O conceito de prevenção e adoção de medidas de controlo de vibrações baseia-se no emprego de medidas técnicas de engenharia, organizacionais e administrativas que permitam reduzir a exposição relacionada com vibrações para valores legalmente aceitáveis, (Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

1. Medidas técnicas de Engenharia

Na bibliografia apresentada encontram-se diversos estudos com diversas medidas de engenharia que poderão atuar como excelentes estratégias de redução e controlo da exposição a VCI em condutores profissionais de autocarro urbanos, nomeadamente:

1.1 Seleção do Assento

A suspensão do assento é um dos fatores mais estudados, como uma medida técnica de engenharia de controlo de vibrações para uma eficaz redução da magnitude das vibrações transmitidas ao condutor, (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Blood, Yost, E., & Ching, 2015).

No estudo realizado por Blood et. Al. em 2010, a aplicação de um assento de silicone demonstrou ser mais eficaz na redução da transmissão das vibrações quando comparada com os assentos de espuma tradicionais, (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010).

Num estudo mais recente elaborado por Blood, Yost, E., & Ching em, 2015, demonstrou-se que os assentos de suspensão eletromagnética (*EM – active suspension seat*) conseguem atenuar muito mais as vibrações transmitidas aos condutores em diferentes tipos de pisos quando comparados com os assentos de suspensão de ar (*air ride suspension seat*), (Blood, Yost, E., & Ching, 2015).

1.2 Tipologia de autocarro

Nos últimos anos também se tem estudado a influência da variação da tipologia de autocarro na transmissão da vibração aos condutores profissionais, como nos autocarros de dois andares, articulados, *standard* e nos miniautocarros, (O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007; Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014).

Segundo o estudo elaborado por Thamsuwan et. al. 2012, os autocarros articulados demonstraram ter uma maior transmissibilidade da vibração ao condutor, quando comparado com os autocarros *standard* e os autocarros de viagens longas, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012).

Além disso, dos estudos analisados verificou-se que os autocarros de longas distâncias são os que têm uma menor transmissibilidade da vibração ao condutor e um maior SEAT, (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014).

De facto, estas variações também poderão estar relacionadas com o tipo de suspensão do veículo, a pressão dos pneus, e o estado dos apoios do motor. Desta forma, estes são também fatores que podem contribuir em grande escala para uma maior ou menor transmissão das vibrações aos condutores.

2. Medidas Organizacionais e Administrativas

Outro dos fatores mais abordados na bibliografia é os tipos de pavimentos em que os autocarros urbanos circulam, que se assumem como uma variável muito representativa na exposição ocupacional dos condutores a VCI, (Melo & Miguel, 2000; O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

Uma vez que estes tipos de fatores não são controláveis pela Empresa de Transportes, torna-se crucial atuar naqueles fatores que a Empresa tem um autodomínio. Segundo o estudo elaborado por Barreira et al. 2015, diferentes percursos são constituídos por tipos de piso diferentes e como tal podem resultar em diferentes intensidades de vibrações transmitidas aos condutores, (Barreira, Matos, & Baptista, 2015). Posto isto, também poderão ser tomadas medidas de controlo organizacionais, como a redefinição das rotas com base no tipo de piso de forma a reduzir e controlar a exposição dos condutores a vibrações.

Além disso, existem outros tipos de medidas organizacionais que podem ser tomadas, nomeadamente, (O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007):

- Permitir uma maior rotação dos condutores;
- Colocação de pausas regulares e sessões de exercícios entre a troca de turnos;
- Aplicação de inquéritos de avaliação aos trabalhadores de forma a se identificarem eventuais perturbações.

Portanto, o controlo da exposição a vibrações no espaço laboral pode ser resumido em 3 (três) processos, nomeadamente:

1. Reduzir as vibrações na origem;
2. Diminuir a transmissão de energia mecânica na superfície potencialmente irradiante;
3. Reduzir a amplitude de vibração de superfícies irradiantes acima referidas.

O primeiro processo pode não ser viável se houver a necessidade de realizar grandes investimentos com novos equipamentos ou grandes transformações processuais. No segundo processo o controlo das vibrações pode ser realizado segundo duas formas: através da introdução de elementos resilientes, tais como molas ou apoios em borracha, fibra de vidro ou cortiça ou através da colocação de amortecedores nos elementos estruturais que compõem o percurso de transmissão, como o assento.

Por fim, o ultimo processo pode ser conseguido através da adição de massas nas superfícies em causa. Se uma superfície vibra numa das suas frequências naturais, a junção de uma pequena massa pode conduzir a uma redução da vibração em causa, (Miguel, 2010)

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação foi desenvolvida com o intuito de estabelecer uma relação entre as vibrações transmitidas aos condutores profissionais de autocarros articulados em condições reais de trabalho e estabelecer uma comparação com outras tipologias de autocarros e percursos com base na revisão bibliográfica. Posto isto, o estudo poderá ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

1. Identificar os fatores relevantes de transmissão de vibração ocupacional em condutores de autocarros articulados;
2. Detetar padrões de vibração em função dos tipos de pavimento e da tipologia de autocarros em estudo;
3. Aplicar a metodologia de medição de vibrações e caraterizar a exposição ocupacional, com base na norma NP ISO 2631-1:2007;
4. Determinar as incertezas de medição da exposição ocupacional diária, A(8), com base no Guia 21 da Relacre;
5. Aplicar uma metodologia de avaliação dos efeitos na saúde dos trabalhadores que estão expostos a vibrações durante longos períodos de tempo, com base na norma ISO 2631-5:2004;
6. Avaliar o efeito do assento na transmissibilidade das VCI aos condutores de autocarros;
7. Identificar fatores relevantes que possam minimizar a transmissão de níveis de vibração para os condutores profissionais;
8. Propor medidas preventivas e/ou corretivas potenciadoras da melhoria das condições de trabalho dos condutores profissionais.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Variáveis selecionadas: Veículos, Tipo de Pavimento e Condutores

A tipologia de autocarro em estudo, é um autocarro articulado de marca Volvo B9LA a diesel de 2010, que se apresenta na Figura 5. A potência varia entre 266 e 356 Kw (CV) e tem uma cilindrada de 9365 cm³/rot.



Figura 5. Tipologia de autocarro em estudo: Autocarro articulado de marca Volvo B9LA.

Todos os veículos estavam equipados com assentos de marca ISRI 6860/875 NTS, apresentado na Figura 6. A cadeira permite ser regulada, garantindo um maior conforto e segurança de condução dos condutores, possui amortecedores verticais ajustáveis e é revestida em tecido ISRI antracite/cinzentos.



Figura 6. Modelo da cadeira de motorista dos autocarros articulados em estudo ⁽³⁾.

A medição das vibrações foi realizada em contexto real de trabalho, com os veículos a efetuar os percursos e cumprindo os horários estabelecidos pela empresa, com o transporte de passageiros.

(3) Fonte: Página web oficial da empresa ISRINGHAUSEN (ISRI) Austrália. Obtido a julho de 2016, em <http://www.isri.com.au/en/products/bus-coach/isrir-6860875.html>

Face às características particulares deste estudo, foram selecionados dois percursos distintos, realizados diariamente pela empresa com autocarros articulados e 12 (doze) condutores profissionais e a análise foi feita em dias distintos.

A codificação dos condutores e percursos foi pré-estabelecida pelo grupo responsável por todas as medições de forma a garantir o anonimato, pelo que na presente dissertação se pretende manter a mesma codificação. Posto isto, a partir de agora os percursos selecionados serão denominados: percurso C e D, a ida e volta por 1 e 2 e os condutores enumerados de A a L.

A seleção dos percursos para a realização das medições foi feita com base nas sugestões da Empresa, baseadas nos percursos realizados com autocarros articulados.

A representatividade de cada tipo de pavimento nos diferentes percursos foi estimada com base no tempo percorrido sobre o tipo de piso, Tabela 3, como no estudo elaborado por (O. Okunribido, Shimbles, Magnusson, & Pope, 2007). Foram considerados apenas os tipos de piso em asfalto e empedrado, uma vez que a percentagem de lombas foi inferior a 1%.

Tabela 3. Caracterização dos percursos.

Percurso	Direção	% Pavimento em asfalto	% Pavimento empedrado
C	C1	92,6	7,3
	C2	98,6	1,4
	Total	95,6	4,4
D	D1	90,6	9,4
	D2	96,4	3,8
	Total	93,5	6,6

Como se verifica pela Tabela 3, o piso era essencialmente constituído por asfalto, no entanto o piso de asfalto por vezes também era muito irregular, devido ao elevado desgaste das estradas, fazendo com que a transmissão das vibrações aumentasse.

De seguida apresenta-se os dois percursos em que foram realizadas as análises da exposição dos condutores a vibrações. Na Figura 7 apresenta-se uma representação do mapa relativo ao percurso C de ida, identificado por C1, e as respetivas paragens para a entrada e saída de passageiros.

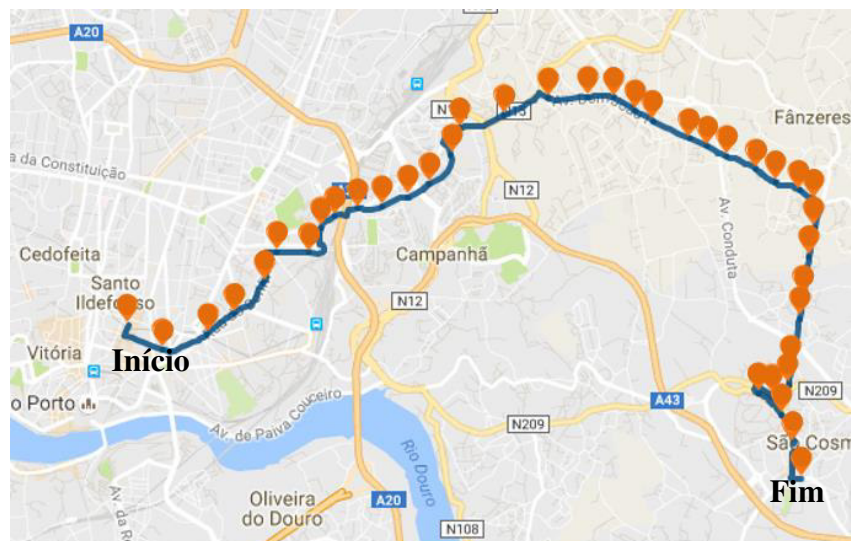


Figura 7. Mapa do Percurso C1.

Analisando a Figura 7, verifica-se que no percurso C1 são realizadas 39 paragens para a entrada e saída de passageiros.

Além disso, salienta-se a existência de trânsito, semáforos e algumas passarelas que levavam à paragem do autocarro ou à diminuição de velocidade.

Na Figura 8, apresenta-se uma representação do mapa relativo ao percurso C de volta, denominado por C2, e as respetivas paragens para a entrada e saída de passageiros.

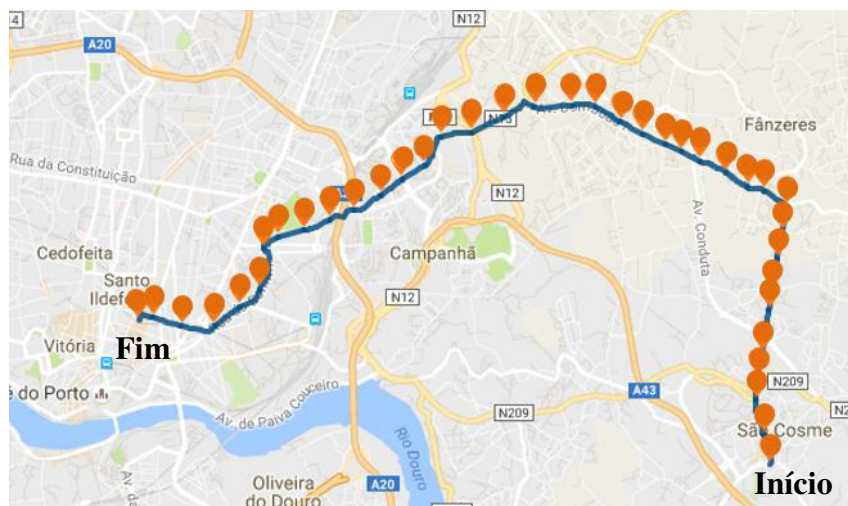


Figura 8. Mapa do Percurso C2.

Analisando a Figura 8, verifica-se no percurso C2 que o autocarro realiza 38 paragens para a entrada e a saída de pessoas. Comparando a Figura 8 com a Figura 7, verifica-se que existe algumas alterações do percurso C1 para o percurso C2, fatores que devem ser tidos em consideração na análise das vibrações e por isso devem ser considerados em separado.

Na Figura 9, apresenta-se uma representação do mapa relativo ao percurso D de ida, denominado por D1, e as respetivas paragens para a entrada e saída de passageiros.



Figura 9. Mapa do Percurso D1.

Pela análise da Figura 9, verifica-se que no percurso D1 o autocarro realizou 36 paragens para a entrada e a saída de pessoas. Neste percurso também é predominante a existência de trânsito, semáforos e passadeiras.

Na Figura 10, apresenta-se uma representação do mapa relativo ao percurso D de volta, denominado por D2, e as respetivas paragens para a entrada e saída de passageiros.



Figura 10. Mapa do Percurso D2.

Analisando as Figuras 9 e 10, verifica-se que existem algumas alterações do percurso D1 para o percurso D2, tal como acontece com o percurso C. Neste caso o percurso de volta, D2, realiza 37 paragens para a entrada e saída de passageiros, mais uma que o percurso D1.

Nas 4 Figuras (Figura 7, 8, 9 e 10), verifica-se que todos os percursos são realizados dentro da grande área Metropolitana do Porto, estando por isso mais suscetíveis a condições de maior tráfego.

Relativamente aos condutores, a amostra foi constituída por 12 (doze) elementos e cada um deles realizou um ciclo de medição (constituído por uma viagem de ida e outra de volta, seguidas) em que 6 realizaram o percurso C e outros seis realizaram o percurso D.

3.2.2 Metodologia

3.2.2.1 Equipamentos de Medição

Para a medição das VCI nos condutores profissionais utilizou-se um acelerómetro triaxial e um analisador de vibrações da marca Polaca SVANTEK, modelo SV 106 com capacidade para medição das vibrações nos três eixos (longitudinal x , lateral y , vertical z) de acordo com as recomendações da ISO 2631-1 (1997), representados na Figura 11.

Este equipamento é dotado de 6 canais para medições simultâneas de VCI e também VMB. Permite armazenar dados num cartão de memória micro SD, mas também pode transmitir dados para computador via USB através do software SvanPC++ da Svantek, versão 2.3.14.

Para este analisador ficar com a capacidade de avaliar as VCI foi-lhe acoplado o acessório de medição de VCI Svantek SV 100 Human Vibration Meter/Analyser.

No caso das avaliações feitas na presente dissertação, a aquisição dos dados foi programada para a medição das vibrações em intervalos de 8 segundos com gravação automática no cartão de memória micro SD flash.

O software SvanPC++ permitiu retirar dados relevantes, como a aceleração instantânea ponderada em frequência (a_w), valor máximo da vibração transiente (MTVV), valor de dose de vibração (VDV), valor de pico máximo (Peak), e o fator de crista (crista). A presente dissertação baseou-se nos valores obtidos de a_w e Peak em função do tempo para calcular o parâmetro A(8), SEAT, S_{ed} e R através da transferência dos dados para o *Excel*.

Além disso, também foi utilizado um dispositivo para a monitorização do ruído, nomeadamente o Sonómetro 01 dB Blue Solo da 01 dB Metravib, Figura 12, que não foram alvo de tratamento no presente trabalho.



Figura 11. Equipamento SV106 da Svantek⁽⁴⁾.



Figura 12. Sonómetro 01dB Blue Solo⁽⁵⁾.

O sistema de medição de vibrações foi objeto de calibração por entidade competente – ISQ, Instituto de Soldadura e Qualidade (Portugal).

A calibração é uma exigência legal e tem uma periodicidade anual de acordo com o Decreto-Lei n.º 46/2006 de 24 de fevereiro.

(4) Fonte: Acoustics Botte Selected Ambient Works 2009-2016. Obtido a julho de 2016, em <http://www.acousticsbotte.com/sound--vibrations-equipment.html>

(5) Fonte: Locadif, Technologie of Mesure. Obtido a julho de 2016, em <http://www.locadif.fr/fr/produits.asp?idm=103>

3.2.2.2 Recolha dos dados

A amostragem da exposição ocupacional a VCI obrigou a um rigoroso trabalho de preparação e planificação por parte da equipa técnica de medição. Desta forma, previamente, foram preparadas folhas de campo para colocar todas as informações relativas ao veículo, ao condutor e ao percurso, durante as medições, com base nas paragens que seriam realizadas em cada linha de transporte, de forma que fosse possível conhecer as características do percurso durante o período em que fossem feitas as medições. As folhas de cálculo podem ser visualizadas nos Anexos 2 e 3 para o percurso C e D, respetivamente.

Posteriormente, foi selecionado o tempo de medição para cada um dos percursos, tendo sido este o correspondente a dois ciclos de medição, sendo que cada ciclo corresponde a uma viagem de ida e uma viagem de volta.

Na Tabela 4 é possível visualizar as informações relativas ao dia de medição e o horário e tempo de medição por percurso, direção e condutor.

Tabela 4. Data, horário e tempos de medição por percurso e condutor.

Data	Percurso	Condutor	1º ciclo de medição		2º ciclo de medição	
			Início (H:min:s)	Fim (H:min:s)	Início (H:min:s)	Fim (H:min:s)
16/10/2015	C1	G	12:43:00	13:24:35	14:11:43	14:51:10
	C2		13:25:12	14:07:17	15:01:06	15:44:14
	C1	H	12:33:15	13:18:51	14:14:20	14:58:32
	C2		13:27:19	14:12:24	15:04:19	15:43:28
	C1	I	09:04:00	09:49:05	10:44:50	11:20:45
	C2		09:57:54	10:38:59	11:34:26	12:09:49
21/10/2015	C1	J	16:01:23	16:51:53	17:45:09	18:46:07
	C2		16:52:28	17:36:32	18:47:10	19:23:12
	C1	K	15:58:37	16:55:59	17:43:30	18:31:30
	C2		16:56:19	17:38:32	18:37:55	19:15:22
	C1	L	09:03:21	09:45:11	10:40:59	11:17:58
	C2		09:55:49	10:32:31	11:30:40	12:11:47
3/11/2015	D1	D	08:54:00	09:34:35	10:26:06	11:08:25
	D2		09:36:35	10:19:25	11:16:23	11:51:08
	D1	E	14:09:39	15:41:42	15:46:59	16:31:33
	D2		15:05:45	17:41:25	16:47:59	17:24:52
4/11/2015	D1	C	14:13:31	14:52:17	15:55:48	16:48:49
	D2		15:05:54	15:44:10	16:50:11	17:43:58
	D1	F	09:00:53	09:34:27	10:29:42	11:05:36
	D2		09:41:37	10:18:07	11:15:21	11:55:45
12/11/2015	D1	A	08:58:02	09:34:34	10:28:22	11:05:48
	D2		09:40:19	10:13:30	11:16:46	11:52:35
	D1	B	09:00:51	09:42:03	10:32:38	11:11:58
	D2		09:43:05	10:20:37	11:16:35	11:56:31

Como é visível na Tabela 4, a vibração de corpo inteiro transmitida através do assento e do piso ao condutor foi medida duas vezes para o mesmo percurso de ida e de volta, ou seja, dois ciclos.

Também pode ser observado que em média cada medição para cada condutor foi aproximadamente de 3 horas, sendo que cada ciclo tem uma duração de 1h e 30 min, ou seja, aproximadamente 45 minutos em cada sentido.

O facto de as medições não terem sido realizadas em horários equivalentes, poderá conduzir a resultados ligeiramente distintos. Simultaneamente, existem diversas variáveis externas ao condutor, como o trânsito, carros mal-estacionados, a taxa de ocupação do autocarro, entre outras, que por sua vez determinam a duração das viagens e a velocidade de circulação dos veículos e deste modo podem interferir com os níveis de vibração transmitidos ao condutor.

No entanto, uma vez que a medição foi repetida para cada ciclo e se considerou um intervalo de medição suficientemente alargado, assegurou-se, deste modo, uma medição representativa da vibração transmitida, como recomendado.

A montagem correta do acelerómetro triaxial também é um fator determinante para fazer uma correta recolha de dados.

Uma vez que se pretendeu estudar a transmissão de VCI através do assento e o efeito de transmissibilidade, através de medições igualmente no piso do veículo, para ambos os casos a medição foi realizada segundo os três eixos ortogonais (longitudinal = eixo x; lateral = eixo y e vertical = eixo z) como é definido pelas normas NP ISO 2631-1:2007 e ISO 2631-5 :2004.

Nas Figuras 13 e 14, é possível visualizar a colocação do acelerómetro triaxial no assento e no piso, respetivamente.



Figura 13. Acelerómetro colocado no assento.

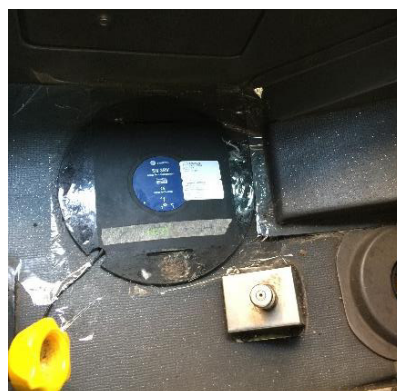


Figura 14. Acelerómetro colocado no piso.

Como é visível na Figura 13 e 14, os acelerómetros foram fixados, um no assento e outro no piso junto ao pé esquerdo.

Esta componente prática de recolha de dados foi realizada por uma equipa da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

3.2.2.3 Análise dos dados

Para a avaliação ocupacional das vibrações, consideraram-se os métodos de quantificação de VCI de acordo com a metodologia definida na norma NP ISO 2631-1:2007.

Desta forma, aplicou-se a Equação 2 para determinar o parâmetro $A(8)$ e verificar se este não ultrapassava os valores V_A e V_{LE} estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 46/2006 de 24 de fevereiro, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/44/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho.

De seguida, realizou-se uma estimativa de incertezas no cálculo do $A(8)$ com base no Guia 21 da Relacre, através do cálculo das componentes da incerteza, através das equações 10, 11, 12, 13, 14, incerteza combinada, Equação 15, e a incerteza expandida, equações 16 e 17.

Posteriormente, determinou-se a transmissibilidade da vibração com base no parâmetro SEAT de acordo com a Equação 9.

Por fim, utilizando os valores PEAK medidos com o equipamento SV 106 e seguindo a norma ISO 2631-5 :2009, determinaram-se os parâmetros D_k , D_{kd} , S_{ed} e R (Equações 4, 5, 7 e 8), para a determinação dos efeitos na coluna lombar.

PARTE 2

4 RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo da tese são expostos os principais resultados obtidos, assim como se procede a uma breve descrição dos mesmos. Sempre que se revelar importante, as Tabelas resultantes da análise serão incluídas. Com o sentido de estruturar a apresentação dos resultados obtidos, este capítulo está dividido em quatro subcapítulos.

No primeiro subcapítulo é apresentado o perfil de exposição ocupacional a vibrações do corpo inteiro, com base nas avaliações realizadas nos condutores em 2 percursos distintos.

No segundo subcapítulo inclui a análise da exposição diária dos condutores a VCI, A(8), e a transmissibilidade do assento avaliado, parâmetro SEAT.

No terceiro subcapítulo, apresenta-se o cálculo da incerteza associada à medição do parâmetro A(8), com base no Guia 21 da Relacre.

Por fim, no quarto subcapítulo é feita uma avaliação dos efeitos na coluna lombar com base na ISO 2631-5:2009.

4.2 Perfil de Exposição Ocupacional

Na determinação deste perfil de exposição ocupacional foram seguidas as indicações constantes da norma NP ISO 2631-1:2007.

A caracterização dos condutores que fizeram parte da monitorização, nomeadamente o género, idade, peso, altura e anos de experiência no setor, e a data de recolha das avaliações constam da Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização da amostra de condutores da monitorização de VCI.

Percorso	Conductor	Género	Idade (anos)	Peso (Kg)	Altura (m)	Experiência (anos)
D	A	Masculino	41	67,6	1,76	19
	B	Masculino	47	82,5	1,72	20
	C	Masculino	43	88,9	1,74	19
	D	Feminino	40	65	1,60	23
	E	Masculino	46	105	1,73	19
	F	Masculino	44	73,5	1,70	25
C	G	Masculino	41	91,5	1,69	16
	H	Masculino	44	81,1	1,65	17
	I	Masculino	41	75,7	1,82	17
	J	Feminino	37	86	1,65	6,5
	K	Masculino	42	95	1,73	17
	L	Masculino	39	88,5	1,70	17

Pela observação da Tabela 5, verifica-se que a maior parte dos condutores profissionais em estudo são do género masculino, existindo apenas dois condutores do género feminino, têm na sua maioria mais de 40 anos e em média 18 anos de experiência profissional na realização desta atividade.

Não foi possível obter dados para o condutor H em todos os percursos, uma vez que o aparelho se desligou durante a medição.

As medições de $a_w(t)$ obtidas pelo acelerómetro e o respetivo analisador, representativas do comportamento dos níveis de aceleração medidos, são apresentadas de seguida para cada condutor.

Percurso C

Na Figura 15 apresenta-se a medição realizada no percurso C com o condutor G no dia 16 de outubro de 2015, primeiro dia de medição. Na Figura é indicado o tipo de percurso, se é em asfalto ou empedrado (A ou E, respetivamente) e quando este é de ida (C1) e de volta (C2).

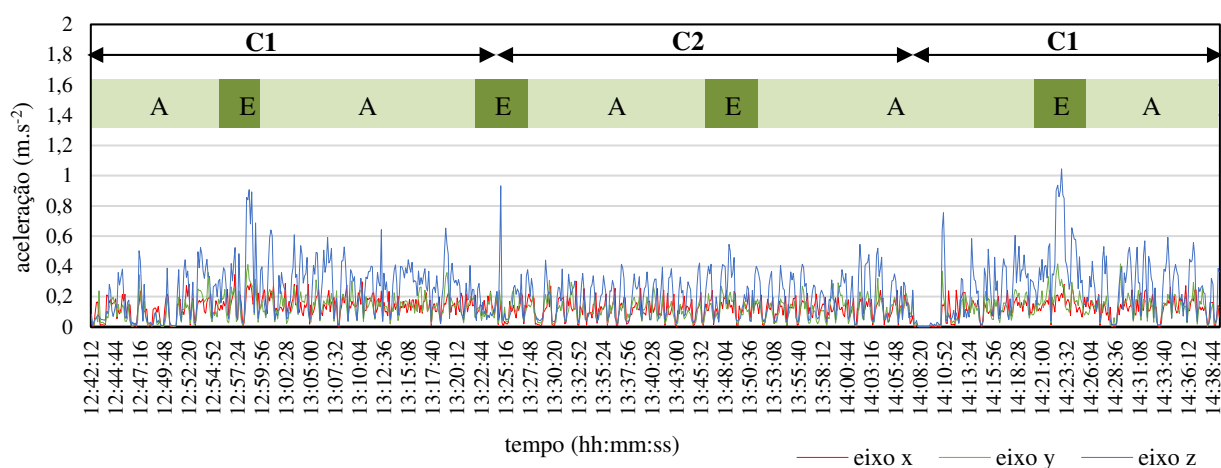


Figura 15. Condutor G no percurso C no dia 16/10/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E- Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 16 apresenta-se a medição realizada no percurso C com o condutor I no dia 16 de outubro de 2015.

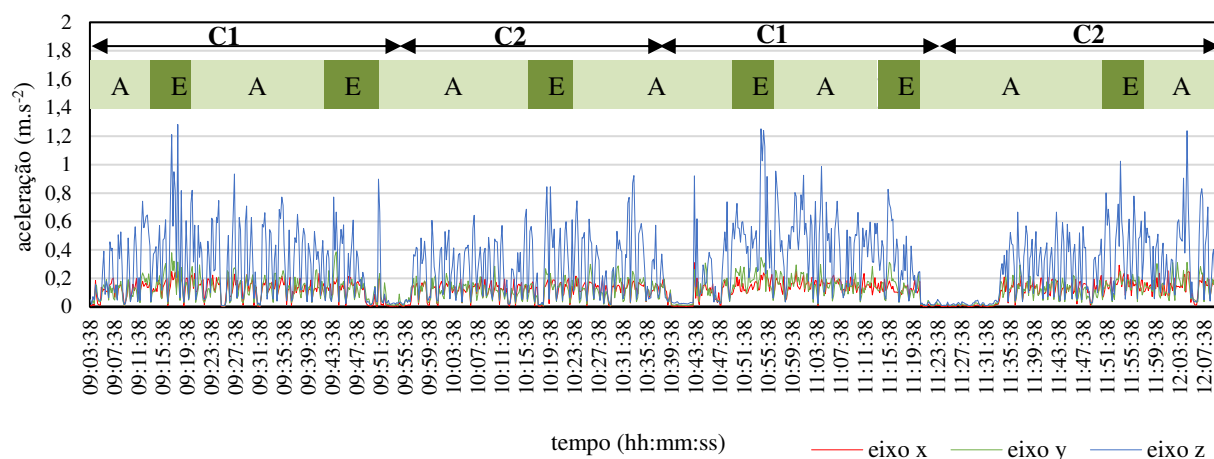


Figura 16. Condutor I no percurso C no dia 16/10/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E - Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 17 apresenta-se a medição realizada no percurso C com o condutor J no dia 21 de outubro de 2015.

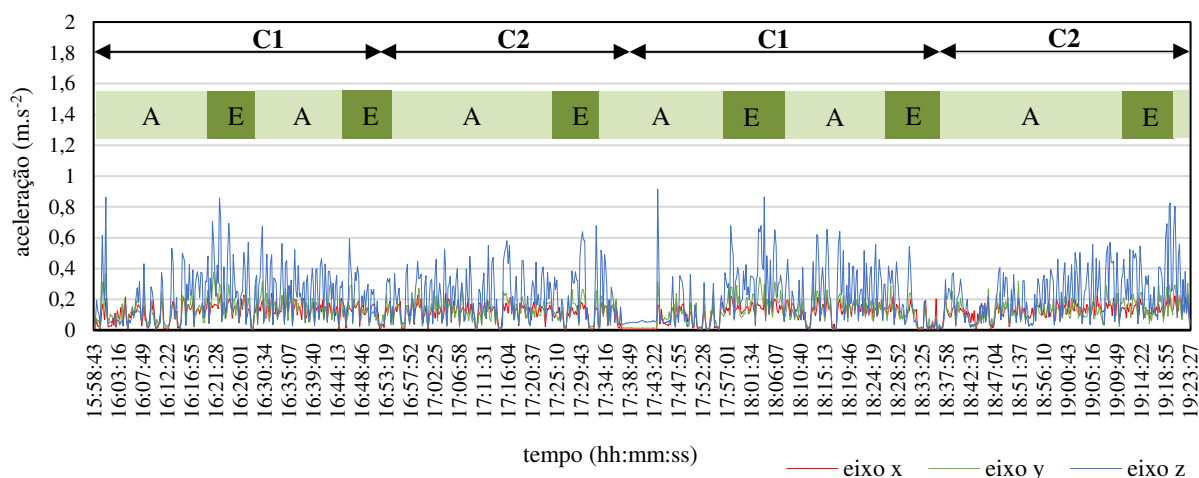


Figura 17. Condutor J no percurso C no dia 21/10/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E - Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 18 apresenta-se a medição realizada no percurso C com o condutor K no dia 21 de outubro de 2015.

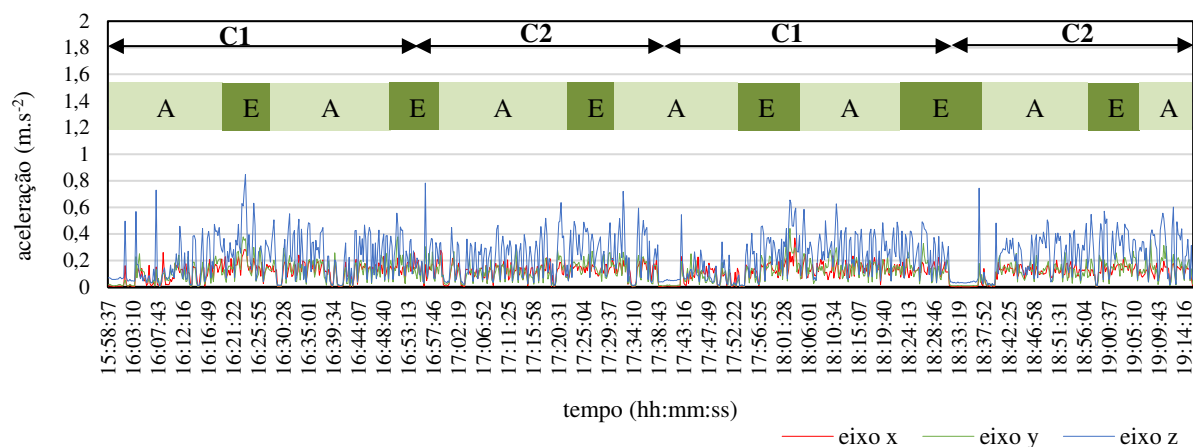


Figura 18. Condutor K no percurso C no dia 21/10/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E - Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 19 apresenta-se a medição realizada no percurso C com o condutor L no dia 21 de outubro de 2015.

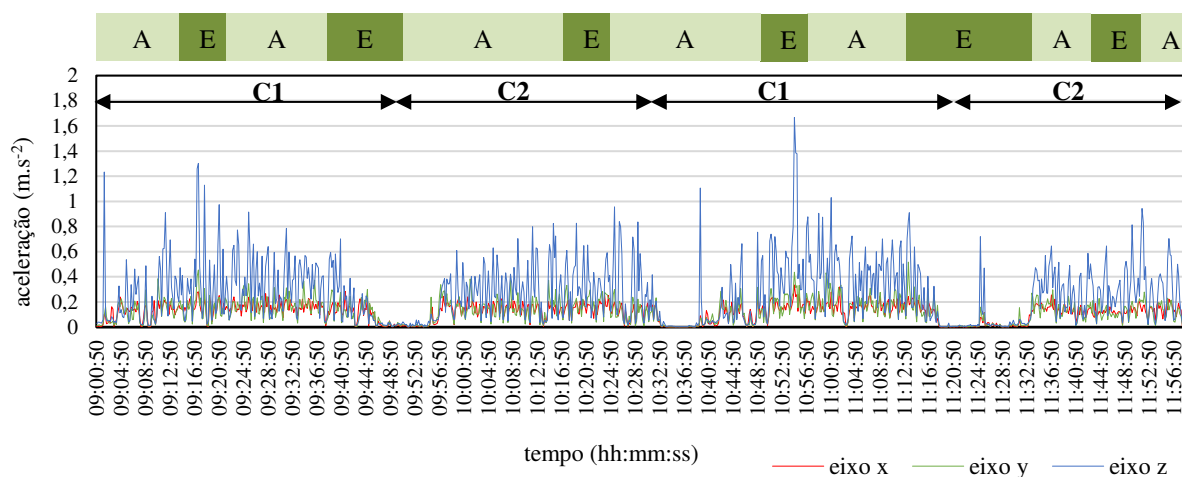


Figura 19. Condutor L no percurso C no dia 21/10/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E - Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Comparando as figuras 15, 16, 17, 18 e 19 verifica-se que existe um perfil de exposição a vibrações relativas ao percurso C que será discutido de forma mais detalhada no capítulo 6.

Percurso D

Na Figura 20 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor E no dia 3 de novembro de 2015. Nesta Figura é indicado, novamente, o tipo de percurso, se é em asfalto ou empedrado (A ou E, respetivamente) e quando este é de ida (D1) e de volta (D2).

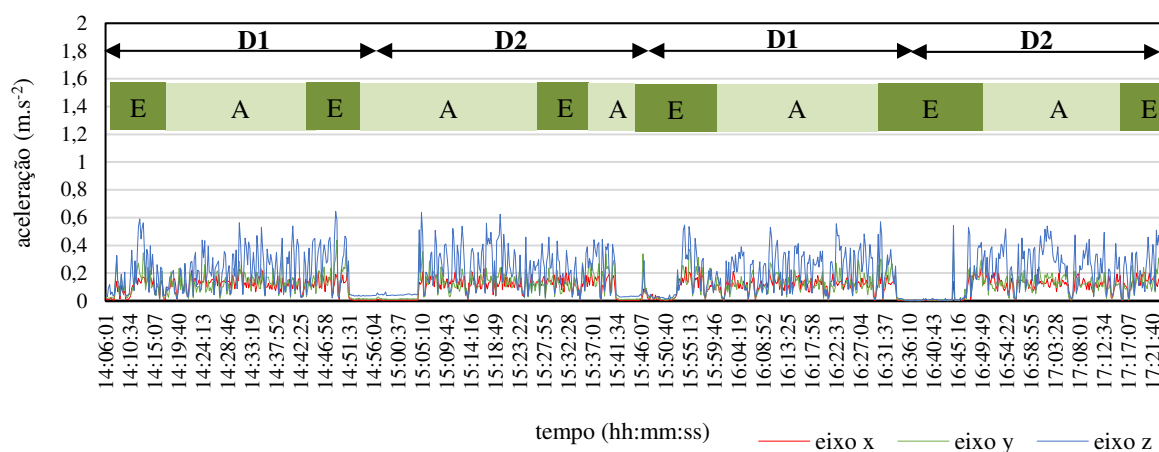


Figura 20. Condutor E percurso D dia 03/ 11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E- Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 21 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor D no dia 3 de novembro de 2015.

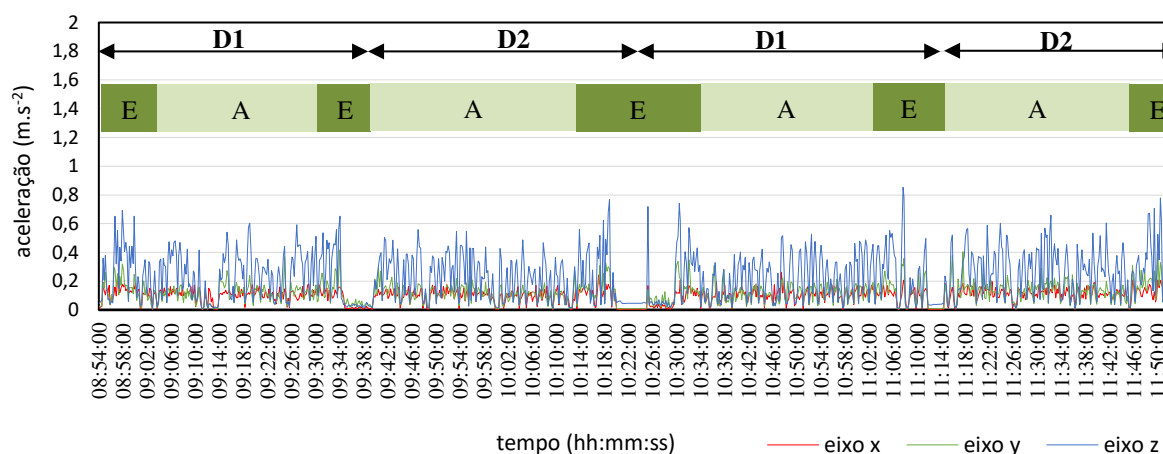


Figura 21. Condutor D percurso D dia 03/ 11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E- Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 22 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor C no dia 4 de novembro de 2015.

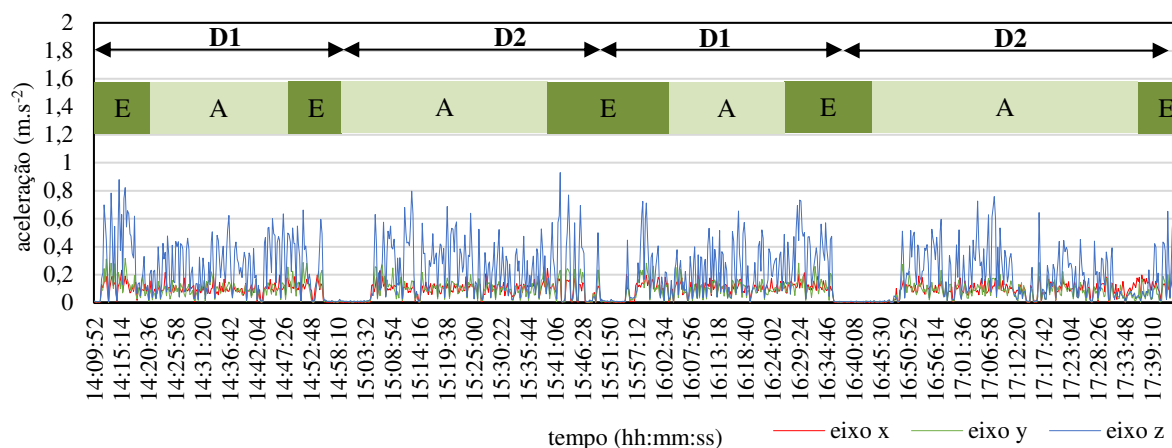


Figura 22. Condutor C percurso D dia 04/11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E- Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 23 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor F no dia 4 de novembro de 2015.

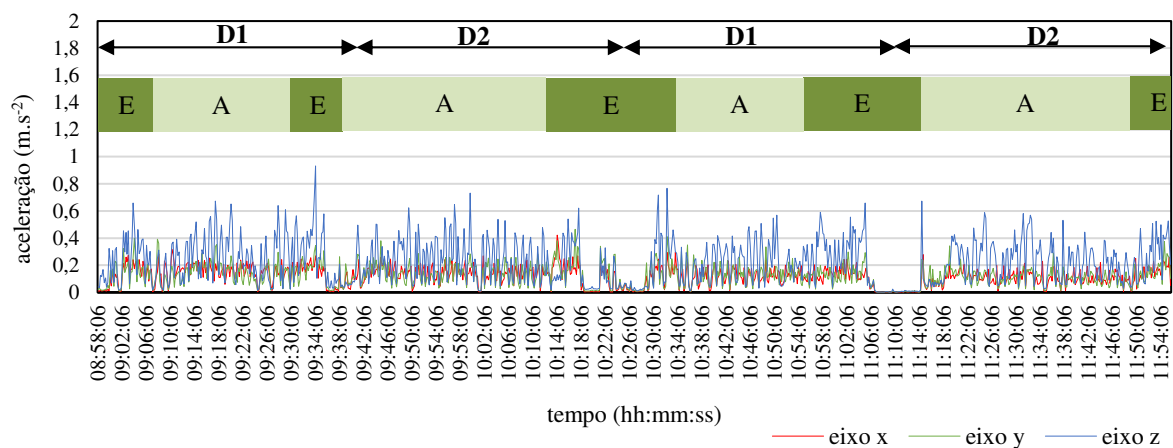


Figura 23. Condutor F percurso D dia 04/11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto E- Empedrado C1 - Ida C2 - Volta

Na Figura 24 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor A no dia 12 de novembro de 2015.

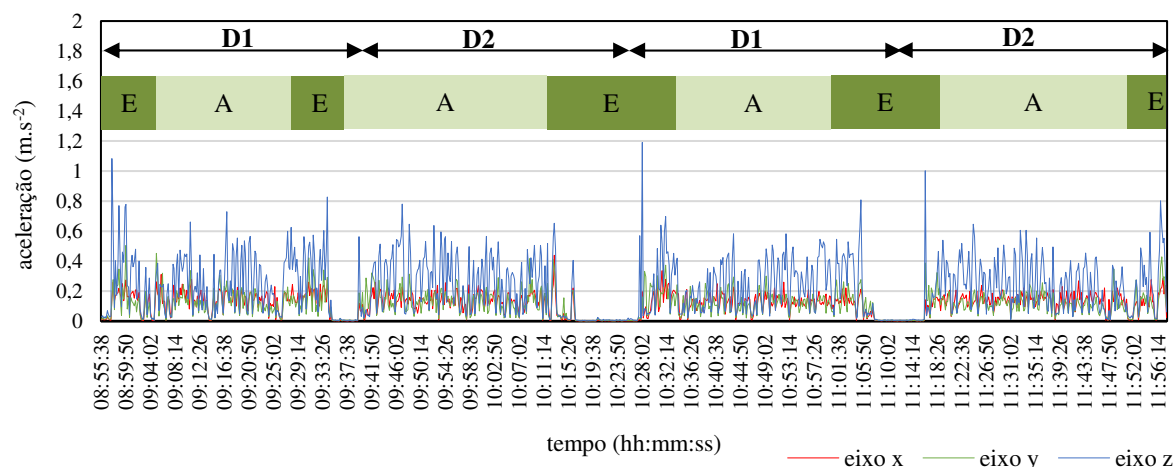


Figura 24. Condutor A percurso D dia 12/11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto

E - Empedrado

C1 - Ida

C2 - Volta

Na Figura 25 apresenta-se a medição realizada no percurso D com o condutor B no dia 12 de novembro de 2015.

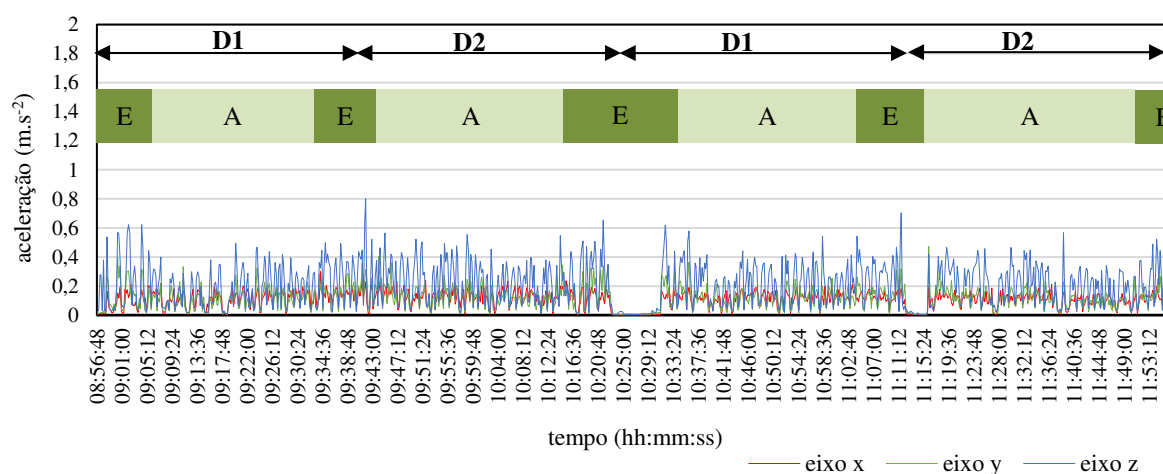


Figura 25. Condutor B percurso D dia 12/11/2015.

Legenda do percurso:

A - Asfalto

E - Empedrado

C1 - Ida

C2 - Volta

Observando as Figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25 verifica-se que, da mesma forma que aconteceu para o percurso C, é possível identificar um perfil comum entre os diferentes condutores que realizaram o mesmo percurso D.

4.3 Exposição Diária a Vibrações e Transmissibilidade do Assento

Com os dados obtidos de $a_w(t)$ com o equipamento de medição das vibrações, foi possível determinar o parâmetro $A(8)$ com base na Equação 2.

De seguida, apresenta-se um exemplo de cálculo para o condutor G no percurso C.

Previamente determinaram-se os valores de aceleração eficaz ponderada (RMS) obtidos no assento para cada eixo:

$$RMS_x = a_{wxmed} \times k_x = 0,127 \times 1,4 = 0,177 \text{ m.s}^{-2}$$

$$RMS_y = a_{wymed} \times k_y = 0,121 \times 1,4 = 0,169 \text{ m.s}^{-2}$$

$$RMS_z = a_{wzmed} \times k_z = 0,230 \times 1 = 0,230 \text{ m.s}^{-2}$$

Em que, o a_{wymed} indicado na formula foi determinado através do cálculo da média aritmética dos valores $a_w(t)$ obtidos em cada eixo, com base na função do Excel 2013 $Média(a_{w,0};a_{w,tf})$.

Onde, $a_{w,0}$ corresponde ao valor $a_w(t)$ obtido no tempo zero, e $a_{w,tf}$ corresponde ao valor $a_w(t)$, medido no tempo tf .

Posteriormente, calculou-se o parâmetro $A(8)$ com base no RMS do eixo com o valor mais elevado:

$$A(8) = RMS_{\max} \times K \times \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} = 0,230 \times \sqrt{\frac{6,66}{8}} = 0,210 \text{ m.s}^{-2}$$

Tendo em conta que cada condutor trabalha 6,67 h/dia e que a avaliação do parâmetro $A(8)$ é feito com base no cálculo de exposição a 8 h/dia, obteve-se para o condutor G um $A(8)$ de 0,210 m.s^{-2} , tendo em conta que o eixo mais elevado foi o eixo z.

Posteriormente, calculou-se o parâmetro SEAT, com base na Equação 9, para o qual também se apresenta de seguida um exemplo de cálculo para o condutor G.

Para terminar este parâmetro, previamente retiraram-se os valores de RMS do piso para o eixo z:

$$RMS_z = a_{wzmed} = 0,277 \text{ m.s}^{-2}$$

De seguida, determinou-se o parâmetro SEAT com base no RMS_z do assento e o RMS_z do piso:

$$Seat = \frac{RMS_z \text{ assento}}{RMS_z \text{ piso}} \times 100 = \frac{0,230}{0,277} \times 100 = 83,2\%$$

Assim, verifica-se que o condutor G obteve uma transmissibilidade no assento de 83,2% em relação ao piso.

Os resultados obtidos para o percurso C para os condutores G, I, K e L são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de RMS, A(8) e SEAT para os condutores que realizaram o percurso C.

Data	Condutor	Local	RMS			A(8) (m.s ⁻²)	Seat (%)
			aw _x (m.s ⁻²)	aw _y (m.s ⁻²)	aw _z (m.s ⁻²)		
16/10/2015	G	assento	0,127	0,121	0,230	0,210	83,2
		piso	-	-	0,277	-	
	I	assento	0,116	0,119	0,297	0,271	106
		piso	-	-	0,279	-	
21/10/2015	J	assento	0,114	0,127	0,220	0,201	84,8
		piso	-	-	0,259	-	
	K	assento	0,114	0,116	0,226	0,206	85,9
		piso	-	-	0,263	-	
	L	assento	0,119	0,125	0,261	0,238	95,8
		piso	-	-	0,272	-	

De seguida apresentam-se os resultados obtidos para o percurso D para os condutores D, E, C, F, A e B na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de RMS, A(8) e SEAT para os condutores que realizaram o percurso D.

Data	Condutor	Local	RMS			A(8) (m.s ⁻²)	Seat (%)
			aw _x (m.s ⁻²)	aw _y (m.s ⁻²)	aw _z (m.s ⁻²)		
03/11/2015	D	assento	0,101	0,116	0,234	0,213	101
		piso	-	-	0,230	-	
	E	assento	0,101	0,109	0,200	0,183	90,3
		piso	-	-	0,222	-	
04/11/2015	C	assento	0,089	0,086	0,218	0,199	115
		piso	-	-	0,190	-	
	F	assento	0,120	0,122	0,221	0,202	96,7
		piso	-	-	0,228	-	
12/11/2015	A	assento	0,116	0,111	0,222	0,203	103
		piso	-	-	0,216	-	
	B	assento	0,108	0,114	0,207	0,189	86,1
		piso	-	-	0,241	-	

4.4 Estimativa das incertezas associadas à exposição diária

Para determinar a incerteza associada ao parâmetro A(8), primeiramente determinou-se as componentes de incerteza (repetibilidade das medições, sistema de medição, duração da exposição e arredondamento), posteriormente procedeu-se ao cálculo da incerteza combinada e por fim determinou-se a incerteza expandida.

De seguida é apresentado, como exemplo, os resultados intermédios das componentes de incerteza e da incerteza combinada obtidas para o condutor G no cálculo do parâmetro A(8).

No Anexo 4, encontra-se presente as tabelas com os resultados obtidos para todos os condutores e os dois percursos.

Tabela 8. Componentes da incerteza e Incerteza combinada obtidas para o condutor G.

Componente da incerteza	$RMS_{\max} = a_{wz} (m.s^{-2})$	S	u_x	C_i	u_y^2	v
Repetibilidade das Medições	0,230	0,175	$5,90 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$2,89 \times 10^{-5}$	879
Sistema de Medição	-	-	$7,98 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$5,31 \times 10^{-6}$	50
Duração da Exposição	-	-	$1,54 \times 10^{-1}$	$1,58 \times 10^{-2}$	$5,90 \times 10^{-6}$	50
Arredondamento	-	-	$2,89 \times 10^{-3}$	1	$8,33 \times 10^{-6}$	50
					v_{eff}	156
					$\sum u_y^2$	$9,63 \times 10^{-6}$

Sendo que, S corresponde ao desvio padrão dos valores $a_w(t)$ medidos ao longo do tempo; u_x é a incerteza padrão para cada componente de incerteza; C_i corresponde ao coeficiente de sensibilidade para cada componente de incerteza; u_y^2 corresponde à incerteza combinada; v corresponde aos graus de liberdade para cada componente de incerteza; v_{eff} corresponde ao número de graus de liberdade efetivos; $\sum u_y^2$ é o somatório das incertezas combinadas das componentes de incerteza.

O RMS_{\max} indicado na Tabela 8, corresponde ao RMS máximo obtido dos três eixos, visível na Tabela 6 e 7, para o percurso C e D respetivamente, uma vez que o cálculo do A(8) foi realizado com base no RMS do eixo mais elevado.

O RMS_{\max} correspondeu sempre ao RMS obtido no eixo z para todos os condutores.

De seguida determinou-se o desvio padrão através da aplicação da Equação 10, que por sua vez, pode ser calculado no Excel 2013 com base na função $DESPAD.S(a_{w,0}:a_{w,tf})$.

Em que, $a_{w,0}$ corresponde ao primeiro valor a_w obtido no tempo zero, e $a_{w,tf}$ corresponde ao ultimo valor a_w medido, no término do percurso, no tempo tf .

Posteriormente, calculou-se a incerteza padrão associada à repetibilidade das medições ($u(x_i)$) com base na Equação 11, sabendo que foram registadas 880 medições (n).

$$u(x_i) = s(\bar{a}_w) = \frac{s(a_w)}{\sqrt{n}} = \frac{0,175}{\sqrt{880}} = 5,90 \times 10^{-3}$$

De seguida, determinou-se o coeficiente de sensibilidade com base na Equação 12.

$$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{T}{T_0} \times \frac{a_{wi}}{A(8)} = \frac{6,67}{8} \times \frac{0,230}{0,210} = 9,13 \times 10^{-1}$$

O coeficiente de sensibilidade foi idêntico para as componentes de incerteza “repetibilidade das medições” e “Sistema de Medição”, uma vez que ambos se basearam na Equação 12.

Posteriormente, calculou-se a incerteza padrão associada ao sistema de medição ($u(x_i)$) através da Equação 13.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0,06 \times 0,230}{\sqrt{3}} = 7,98 \times 10^{-3}$$

A incerteza padrão associada à duração da exposição foi determinada também através da Equação 13, no entanto, neste caso assume-se um valor do erro máximo de 4% do valor medido.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0,04 \times 0,230}{\sqrt{3}} = 1,54 \times 10^{-1}$$

De seguida, determinou-se o coeficiente de sensibilidade pela Equação 14.

$$C_i = \frac{\partial A(8)}{\partial a_{wi}} = \frac{a_{wi}^2}{A(8) \times T_0 \times 2} = \frac{0,230^2}{0,230 \times 8 \times 2} = 1,58 \times 10^{-2}$$

A incerteza padrão do arredondamento, foi determinada com base na Equação 13. Sendo que, neste caso a corresponde a meia divisão do valor final apresentado.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 2,89 \times 10^{-3}$$

Posteriormente procedeu-se ao cálculo da incerteza combinada, com base na Equação 15.

$$u_{combinada}^2(y) = (5,90 \times 10^{-3} \times 9,13 \times 10^{-1})^2 + (7,98 \times 10^{-3} \times 9,13 \times 10^{-1})^2 + (1,54 \times 10^{-1} \times 1,58 \times 10^{-2})^2 + (2,89 \times 10^{-3} \times 1)^2$$

\leftrightarrow

$$u_{combinada}^2(y) = 2,89 \times 10^{-5} + 5,31 \times 10^{-6} + 5,90 \times 10^{-6} + 8,33 \times 10^{-6} = 9,63 \times 10^{-5}$$

Posteriormente procedeu-se ao cálculo da incerteza, tendo em conta que os graus de liberdade para a repetibilidade das medições corresponderão à subtração do número de medições por 1 (um), ou seja, a subtração entre 880 (oitocentos e oitenta) medições e um, obtendo-se 879 (oitocentos e oitenta e nove) e para as restantes incertezas terá o valor de 50 (cinquenta).

Posto isto, o numero de graus de liberdade efetivos foi calculado com base na Equação 17.

$$v_{eff} = \frac{(9,63 \times 10^{-5})^2}{\frac{(2,89 \times 10^{-5})^2}{879} + \frac{(5,31 \times 10^{-6})^2}{50} + \frac{(5,90 \times 10^{-6})^2}{50} + \frac{(8,33 \times 10^{-6})^2}{50}} = 156$$

De seguida, já foi possível determinar o fator k , a partir do número de graus de liberdade efectivos, v_{eff} , para uma distribuição t de Student, considerando um intervalo de confiança unilateral com uma probabilidade de 95 %. Este cálculo foi efetuado com base na função $INV.T.2C(2*0,05; v_{eff})$, do Excell 2013, tendo-se obtido um k de 1,65.

Por fim, foi possível determinar a incerteza expandida, a partir da Equação 16.

$$U = k \times u_{combinada}^2(y) = 1,65 \times 9,63 \times 10^{-5} = 1,62 \times 10^{-2} = 0,02$$

Posto isto, verifica-se que a medição do A(8) para o condutor G teve uma incerteza expandida de $\pm 0,02$.

Na Tabela 9, é possível visualizar os valores obtidos do parâmetro A(8) com a majoração da incerteza para os condutores que realizaram o percurso C.

Tabela 9. Parâmetro A(8) no assento com a majoração de incerteza para os condutores do percurso C.

Data	Condutor	A(8) (m.s ⁻²)	A(8) + U
16/10/2015	G	0,210 ± 0,02	0,212
	I	0,271 ± 0,02	0,273
21/10/2015	J	0,201 ± 0,01	0,202
	K	0,206 ± 0,02	0,208
	L	0,238 ± 0,02	0,240

Na Tabela 10, apresenta-se os resultados obtidos do parâmetro A(8) com a majoração da incerteza para os condutores que realizaram o percurso D.

Tabela 10. Parâmetro A(8) no assento com a majoração de incerteza para os condutores do percurso D.

Data	Condutor	A(8) (m.s ⁻²)	A(8) + U
03/11/2015	D	0,213 ± 0,02	0,215
	E	0,183 ± 0,01	0,184
04/11/2015	C	0,199 ± 0,02	0,201
	F	0,202 ± 0,02	0,204
12/11/2015	A	0,203 ± 0,02	0,205
	B	0,189 ± 0,01	0,190

A respetiva análise das tabelas 10 e 11 e a comparação com o VA e o VLE será feita no capítulo 6 da Discussão.

4.5 Avaliação dos efeitos na coluna lombar

Para o cálculo da determinação dos efeitos na coluna lombar, foram aplicadas as equações 4, 5, 6 e 8 da norma ISO 2631-5:2004.

Para o cálculo do D_k , aplicou-se a Equação 4, na qual se realizou o somatório elevado a 1/6 dos valores PEAK obtidos com o equipamento de medição elevados com o expoente 6. Uma vez que, se trata de um cálculo simples, mas muito extenso não é apresentado um exemplo.

No entanto, apresenta-se um exemplo de cálculo do parâmetro D_{kd} , S_{ed} e R (Equações 5, 7 e 8), para o condutor G.

Cálculo do parâmetro D_{kd} para o percurso C, condutor G:

Valores de D_{kd} obtidos para cada eixo (Equação 5):

$$D_{kdx} = D_k \left[\frac{t_d}{t_m} \right]^{1/6} = 2,37 \times \left[\frac{6,67}{3,3} \right]^{1/6} = 2,67$$

$$D_{kdy} = D_k \left[\frac{t_d}{t_m} \right]^{1/6} = 2,68 \times \left[\frac{6,67}{3,3} \right]^{1/6} = 3,02$$

$$D_{kdz} = D_k \left[\frac{t_d}{t_m} \right]^{1/6} = 12,8 \times \left[\frac{6,67}{3,3} \right]^{1/6} = 14,4$$

Os valores de D_{kd} foram obtidos com base nos valores D_k e do tempo de exposição diária (6,67h) e o tempo total de medição no condutor (3,3h).

Cálculo do parâmetro S_{ed} para o percurso C, condutor G:

$$S_{ed} = \left[\sum_{k=x,y \text{ e } z} (m_k D_{kd})^6 \right]^{1/6} = [[2,666 \times 0,015]^6 + [3,019 \times 0,035]^6 + [14,39 \times 0,032]^6]^{1/6} = 0,46 \text{ MPa}$$

O parâmetro S_{ed} foi calculado com base na Equação 7 utilizando os valores D_{kd} obtidos e os valores m_k recomendados para cada eixo segundo a ISO 2631-5:2004, tendo-se obtido 0,46 MPa.

Cálculo do parâmetro R para o percurso C, condutor G:

Primeiramente, foi necessário calcular o parâmetro S_{ui} :

$$S_{ui} = 6,75 - 0,066 (b + i) = 6,75 - 0,066 \times 41 = 4,04$$

Nesta situação, $b+i$ correspondeu à idade do trabalhador, obtendo-se assim um S_{ui} de 4,04.

De seguida, procedeu-se ao cálculo do R com base na Equação 8.

$$R = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ed} \cdot N^{1/6}}{S_{ui} - c} \right)^6 \right]^{1/6} = \left[\left(\frac{0,46 \times 240^{1/6}}{4,04 - 0,25} \right)^6 \times 16 \right]^{1/6} = 0,480$$

Considerando que os condutores estão expostos 240 dias por ano e considerando os valores obtidos para os parâmetros S_{ed} e S_{ui} obteve-se um R de 0,480.

Na Tabela 11, é possível visualizar os resultados obtidos para a caracterização dos efeitos na coluna lombar dos condutores, no percurso C. Para isso, apresentam-se todos os valores intermédios de cálculo e os valores finais para a compressão estática equivalente diária na coluna (S_{ed}) e o parâmetro R.

Tabela 11. Valores dos parâmetros S_{ed} e R para os condutores do percurso C.

Data	Condutor	Eixo	D _k	D _{kd}	S_{ed}	N	b+i	S_{ui}	R
16/10/2015	G	X	2,37	2,67	0,460	26	41	4,04	0,480
		Y	2,68	3,02					
		Z	12,8	14,4					
	I	X	2,71	2,76	0,509	17	41	4,04	0,537
		Y	2,70	2,75					
		Z	15,6	15,9					
21/10/2015	J	X	2,84	2,65	0,509	6,5	37	4,31	0,427
		Y	2,84	2,65					
		Z	17,0	15,9					
	K	X	2,52	2,67	0,401	17	42	3,98	0,429
		Y	2,93	3,11					
		Z	11,8	12,5					
	L	X	2,16	2,30	0,725	17	39	4,18	0,738
		Y	3,04	3,23					
		Z	21,3	22,6					

Na Tabela 12, apresentam-se os resultados obtidos para a caracterização dos efeitos na coluna lombar dos condutores, no percurso D.

Tabela 12. Valores dos parâmetros S_{ed} e R para os condutores do percurso D.

Data	Condutor	Eixo	D _k	D _{kd}	S_{ed}	N	b+i	S_{ui}	R
03/11/2015	D	X	7,00	7,04	0,686	23	40	4,11	0,747
		Y	6,40	6,44					
		Z	21,3	21,4					
	E	X	2,13	3,39	0,591	19	46	3,71	0,695
		Y	2,76	4,40					
		Z	11,6	18,5					
04/11/2015	C	X	1,83	1,79	0,263	19	43	3,91	0,292
		Y	2,19	2,14					
		Z	8,38	8,20					
	F	X	2,79	2,90	0,283	25	44	3,85	0,335
		Y	2,83	2,95					
		Z	8,51	8,84					
12/11/2015	A	X	2,49	1,73	0,447	19	41	4,04	0,479
		Y	3,04	2,10					
		Z	20,1	13,9					
	B	X	2,08	2,03	0,223	20	47	3,65	0,269
		Y	2,65	2,59					
		Z	7,13	6,96					

5 DISCUSSÃO

5.1 Perfil de Exposição Ocupacional

Relativamente ao percurso C, comparando as Figuras 15, 16, 17, 18 e 19, verifica-se que existe um perfil de exposição comum que permite identificar as características do piso. No entanto, existem algumas variações de transmissão de vibrações para os diferentes condutores, tal é justificável pelo tipo de condução e velocidade utilizada por cada condutor, os diferentes horários de medição, o trânsito existente e as paragens efetuadas. Uma maior velocidade e movimentos mais repentinos resultam numa maior transmissão de vibração aos condutores, principalmente em percursos em pisos empedrados, lombas e em pisos irregulares. É notório em alguns casos de piso em asfalto que resultou da transmissão de picos de vibrações superiores, devido à sua irregularidade e à existência de buracos/tampas de saneamento que surgem momentaneamente durante o percurso.

O percurso C foi caracterizado essencialmente por existência de piso em asfalto, com piso empedrado perto de meio e no fim do percurso C1, sendo este último considerado também no início do percurso C2. Perto do fim do percurso C2 também se verificou sempre a existência de piso empedrado, tendo-se notado nestes momentos um aumento considerável da $a_w(t)$.

Na figura 16, correspondente ao percurso realizado pelo condutor G, o aparelho desligou-se no final do percurso C1, na segunda volta, pelo que não se pode avaliar este percurso no segundo ciclo na sua totalidade. No entanto, uma vez que foi gravado o primeiro ciclo na totalidade e pela comparação com os outros condutores prevê-se que não iria haver grandes variações.

Comparando as Figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25, referentes ao percurso D, verifica-se que, tal como acontecia no percurso C, existe um perfil de transmissão de vibrações relacionado com o tipo de piso que se mantém para os diferentes condutores. Além disso verifica-se também, que embora de forma menos acentuada que o percurso C, também o percurso D tem algumas variações de transmissão de vibrações para os diferentes condutores.

O percurso D foi caracterizado essencialmente por existência de piso em asfalto, com piso empedrado no início e no fim do percurso C1, que por vezes coincidia também no início e fim do percurso C2.

Avaliando o perfil de exposição ocupacional dos condutores a VCI, Tabela 6 e 7, pode-se concluir que de um modo geral o percurso D se caracteriza por valores de vibração inferiores relativamente ao percurso C. Verifica-se, inclusive que os condutores ultrapassam o VA na sua maioria quando o percurso é empedrado. O condutor I e o condutor L que realizam o percurso C ultrapassam inclusive o VLE em 3 momentos, sendo que no percurso D este valor nunca é ultrapassado.

No entanto, o condutor A que realiza o percurso D apresenta valores consideravelmente elevados quando comparado com os valores de vibração obtidos nos outros condutores que realizam este percurso. Este facto, poderá dever-se ao tipo de condução realizado pelo condutor

e à velocidade aplicada, há existência de alguma irregularidade no assento do veículo, bem como às próprias características do condutor, das quais se verifica que é um dos condutores mais leves, com 67 Kg, o que contribui para uma menor amortização das vibrações transmitidas. Além disso, a utilização de diferentes veículos nas amostragens, mesmo que tenham sido do mesmo ano e da mesma marca e modelo poderá conduzir a resultados um pouco diferentes, consoante o estado dos pneus e da manutenção.

Para ambos os percursos, C e D, independentemente dos condutores, o eixo predominante foi o eixo vertical z. Uma vez que os condutores permaneceram na posição sentado e desta forma a grande parte da movimentação provocada pelas irregularidades do piso e a vibração provocada pelo motor em funcionamento fez-se sentir no eixo vertical, sobre a superfície do assento.

Embora não seja possível relacionar diretamente os níveis de aceleração com o tipo de pavimento, pela análise gráfica, percebe-se facilmente que os níveis de aceleração mais elevados ocorrem em pavimento de empedrado e muitos deles correspondem à mudança de pavimento de asfalto para empedrado e às irregularidades decorrentes do mau estado do pavimento. Posto isto, foi possível identificar os diferentes tipos de pavimentos durante a realização dos percursos, no entanto, não foi considerado concebível fazer uma avaliação em separado dos diferentes tipos de piso, uma vez que não foi possível analisar esta variável em separado de forma a aplicar os cálculos separados de A(8). Além disso, os percursos eram constituídos por parcelas muito pequenas de piso empedrado intercaladas com pisos em asfalto, assistindo-se a uma heterogeneidade muito elevada de tipos de pavimento dificultando também a sua separação para o cálculo da exposição diária.

5.2 Exposição Diária a vibrações e Transmissibilidade do Assento

Avaliando o parâmetro A(8) em todos os condutores e nos diferentes percursos que caracterizam o posto de trabalho, apresentada na Tabela 6 e 7, verifica-se que em nenhum caso o valor de A(8) ultrapassa o VA ($0,5 \text{ m.s}^{-2}$) nem o VLE ($1,15 \text{ m.s}^{-2}$) e são da mesma grandeza em todos os condutores.

Os valores de RMS obtidos para o eixo z foram sempre superiores aos obtidos para o eixo y que por sua vez foi superior ao do eixo x, estando de acordo com os resultados obtidos na literatura, (Melo & Miguel, 2000).

Na literatura foi também calculado o parâmetro A(8) para cada eixo que esteve concordante com os valores obtidos de RMS, nomeadamente por (Bovenzi, 2009; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014), o que na presente dissertação não foi realizado, uma vez que se trabalhou apenas para o eixo que obteve o RMS com o valor maior, pelo facto de ser esse o valor comparado com a legislação, estando concordante com os estudos (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Barreira, Matos, & Baptista, 2015; Blood, Yost, E., & Ching, 2015).

Comparando as Tabelas 6 e 7, nas quais são apresentados os valores de $A(8)$ para os condutores que fazem o percurso C e D respetivamente, verifica-se que no percurso C os valores do parâmetro $A(8)$ são superiores. Quando comparados os perfis de exposição (Figuras 16,17,18 e 19) verifica-se, igualmente, que é no percurso C que existem mais picos de exposição que ultrapassam o VLE.

Comparando os valores obtidos do parâmetro $A(8)$ para os diferentes condutores com os resultados obtidos com a literatura, verifica-se que estes se apresentam na sua maioria com valores inferiores aos estudos referenciados por (Bovenzi, 2009; Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014; Blood, Yost, E., & Ching, 2015). Este facto, poderá dever-se a fatores que não foram controlados da mesma forma nos diferentes estudos, como: a velocidade, características dos autocarros, como idade e a manutenção, a caracterização do tipo de piso, características dos próprios condutores, entre outros.

Relativamente aos valores obtidos para o parâmetro SEAT, Tabelas 6 e 7, para o percurso C e D respetivamente, verifica-se que os valores se encontram bastante próximos e na sua maioria os assentos permitem atenuar a transmissão da vibração.

No entanto, para o condutor I do percurso C e os condutores D, C e A do percurso D a vibração transmitida pelo assento é superior à do piso, resultando num SEAT superior a 100%.

Uma vez que a tipologia do assento foi sempre a mesma em todos os veículos analisados, presume-se que estas variações de SEAT possam estar relacionadas com as características dos condutores, como o peso e a altura, que contribuem para uma maior amortização das vibrações transmitidas e ao facto de terem sido utilizado diferentes veículos nas amostragens, uma vez que mesmo que os veículos tenham sido do mesmo ano e da mesma marca e modelo poderá conduzir a resultados um pouco diferentes, consoante o estado dos pneus e da manutenção. De facto, poderão existir algumas irregularidades nos assentos nos veículos correspondentes aos condutores que obtiveram um SEAT superior a 100%, que não permitiram atenuar as vibrações.

Apesar disso, os valores obtidos encontram-se na mesma ordem de grandeza dos estudos mencionados na literatura, nomeadamente (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014), mas bastante mais elevados que os obtidos no estudo elaborado por (Barreira, Matos, & Baptista, 2015).

Comparando os valores dos parâmetros $A(8)$ e SEAT com o estudo elaborado por (Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012), em autocarros articulados, verifica-se que os valores do parâmetro $A(8)$ foram inferiores, no entanto, os valores do parâmetro SEAT foram mais elevados, demonstrando que embora as vibrações transmitidas fossem menores, o assento não teve a mesma capacidade para atenuar o seu efeito sobre os condutores.

5.3 Estimativa das incertezas associadas à exposição diária a vibrações

Pela análise das tabelas 9 e 10, que representam o parâmetro A(8) com a majoração da incerteza, verifica-se que mesmo com a majoração inerente à incerteza, os valores de A(8) obtidos nunca ultrapassaram o VA e o VLE, garantindo assim que os valores limite legislados fossem sempre respeitados.

Além disso, uma vez que as análises foram realizados em contexto real de trabalho permitiu constatar que no dia-a-dia os condutores, em condições normais de trabalho, não ficam expostos a valores de A(8) que excedam os valores limite legislados, garantindo a segurança dos mesmos.

Comparando os valores de incertezas obtidos entre os condutores verifica-se que estes foram sempre muito próximos, e na maioria dos casos igual a 0,02, e não tiveram um impacto significativo no valor final, uma vez que este por si só já é bastante baixo.

Ao comparar os valores de incerteza com os obtidos na literatura verifica-se que na maioria dos casos foram na mesma ordem de grandeza, (Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010; Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013).

5.4 Avaliação dos efeitos na coluna lombar

Os valores da compressão estática diária na coluna, representados nas Tabelas 11 e 12 pelo parâmetro S_{ed} , obtiveram variações consideráveis entre os diferentes condutores e para os dois percursos.

Os condutores C, F, B que realizam o percurso D, obtiveram valores de S_{ed} mais baixos quando comparados com os outros condutores que realizaram o mesmo percurso e o percurso C.

De um modo geral, o percurso C obteve valores mais elevados para o parâmetro S_{ed} , no entanto, e uma vez que a metodologia de cálculo deste parâmetro entra em conta com o parâmetro PEAK é normal que passem a existir mais variações, e em especial, que este valor seja superior no percurso C, uma vez que obteve picos mais elevados como já mencionado.

Fazendo uma comparação entre os valores obtidos de S_{ed} neste estudo e os valores obtidos pela literatura, nomeadamente os estudos elaborados por (Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013), verifica-se que se encontram na mesma ordem de grandeza, embora neste caso não exista uma separação pelo tipo de piso.

Em relação à avaliação dos efeitos na coluna lombar, constata-se que os condutores presentes na monitorização não apresentam probabilidade de sofrer efeitos negativos na saúde, uma vez que os valores obtidos no parâmetro R são todos consideravelmente inferiores a 0,8 e segundo a norma ISO 2631-5: 2004, só a partir deste valor existe probabilidade elevada de efeitos negativos na zona lombar, como é descrito no capítulo 2.3.4, da presente dissertação, nas metodologias de análise da exposição a VCI.

Nos estudos incluídos na revisão bibliográfica, os autores fazem a avaliação dos efeitos na coluna lombar apenas com base no valor de S_{ed} , pelo que a comparação foi feita tendo em conta apenas neste parâmetro e não o parâmetro R.

No entanto, como o documento normativo define o parâmetro R para avaliar os efeitos na saúde relacionados com a exposição a VCI, realizou-se também a análise deste parâmetro no presente trabalho.

5.5 Estratégias preventivas de controlo da exposição a VCI

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que não existia a probabilidade de os condutores sentirem efeitos negativos na saúde devido à exposição a VCI, no entanto é importante existir um controlo deste tipo de parâmetros de forma a garantir o máximo conforto nos locais de trabalho e evitar que possam surgir problemas de saúde mais graves nos trabalhadores.

Posto isto, e com base na situação real encontrada seria importante reduzir as irregularidades do piso, uma vez que ainda que a gestão dos pavimentos urbanos não seja da responsabilidade da empresa, destaca-se a importância da gestão dos pavimentos urbanos, na medida em que a falta de manutenção constitui a principal fonte de vibração e provoca ainda uma sensação de desconforto no posto de trabalho dos condutores.

A adaptação da velocidade ao piso em que os autocarros se deslocam através de ações de sensibilização dos condutores e da adaptação do horário estabelecido pela Empresa, é igualmente de extrema importância, uma vez que uma velocidade superior num piso que se apresente irregular resulta numa maior transmissão de vibrações ao veículo e consequentemente ao condutor.

As estratégias de engenharia usualmente referidas, como a seleção adequada dos assentos e a regular manutenção dos mesmos, o tipo de material da almofada do assento, a existência de apoio lombar e de mecanismos de suspensão e a seleção dos pneus mais adequados constituem importantes medidas técnicas que deverão continuar a ser tidas em conta na gestão dos veículos.

Em termos organizacionais, a redefinição de rotas com base no tipo de pavimento, a existência de pausas regulares e a realização de pequenos exercícios adequados aquando da troca de turnos, também podem ajudar a reduzir os efeitos devidos à exposição a vibrações.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

O presente trabalho possibilitou a realização de um estudo de duas situações reais de exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI) de condutores profissionais nos autocarros articulados em ambiente urbano.

Uma vez que os dados referentes a este tipo de situações reais de exposição são escassos, sendo inexistentes para a tipologia de autocarros em estudo, este trabalho permitiu a criação e consolidação de conhecimento a este respeito.

Neste estudo, ficou demonstrado que para os percursos e condutores em estudo, em autocarros articulados, os valores de $A(8)$ nunca ultrapassaram os valores limite de ação e de exposição estabelecidos pela diretiva 44/2002/CE de 25 de junho de 2002, mesmo com a majoração de incerteza de medição associada.

De um modo geral, verificou-se que o eixo do z, direção vertical, obteve sempre uma maior transmissão de VCI para os dois percursos em estudo e que o eixo dos x foi sempre o que obteve uma menor transmissão de vibrações.

A monitorização foi realizada em condutores profissionais em horário laboral e como tal, teve em conta as interferências de todas as variáveis que poderão influenciar no nível de exposição ocupacional. Deste modo, o estudo permitiu compreender melhor as condições a que os condutores estão expostos na sua rotina laboral diária.

Uma das variáveis com maior influência é o tipo de piso/pavimento e uma vez que os percursos definidos eram constituídos por diferentes tipos de piso, não foi possível determinar os níveis de VCI transmitidos separadamente. No entanto, foi notório que nos intervalos de tempo em que o piso foi empedrado obtiveram-se valores superiores em relação aos intervalos de tempo em que o piso foi de asfalto sem irregularidades.

Pela avaliação da transmissibilidade pela superfície do assento, através da quantificação do parâmetro SEAT, verificou-se que os assentos se traduziram por vezes num efeito atenuador e, em alguns casos, num efeito amplificador da transmissão das vibrações aos condutores. Salienta-se que, mesmo os assentos que atenuaram as vibrações transmitidas, este valor foi bastante reduzido.

No cálculo da compressão estática diária na coluna (S_{ed}), verificou-se que os resultados obtidos para este parâmetro foram na mesma ordem de grandeza na generalidade dos casos avaliados.

Pela análise do parâmetro R, verificou-se que os condutores estudados apresentaram um risco baixo de virem a sofrer efeitos na saúde, em particular na coluna lombar, de acordo com as normas aplicadas.

Desta forma, com o presente estudo prevê-se que a exposição ocupacional a VCI seja minimizada pela seleção criteriosa do veículo e do tipo de pavimento dos percursos definidos.

6.2 Perspetivas Futuras

Na realização da presente dissertação foram detetadas algumas limitações que permitiram perspetivar o prosseguimento da presente investigação, com vista à melhoria das condições laborais dos condutores profissionais. Posto isto, e de forma a dar continuidade ao presente trabalho, seria importante em trabalhos futuros considerar os seguintes aspetos:

1. Uma maior dimensão da amostra de condutores, deste modo conseguir-se-ia abranger uma amostra mais representativa do género feminino e estudar a influência das características dos condutores como o peso, a altura e a idade;
2. Comparar diferentes tipologias de autocarros urbanos em condições iguais e reais de trabalho, uma vez que pela literatura estudada, em condições definidas, verificou-se que se podem detetar variações de transmissão de VCI e a partir destas encontrar a melhor tipologia de autocarro a adotar;
3. Considerar uma maior dimensão da amostra de percursos, uma vez que o tipo de pavimento tem grandes influências na vibração transmitida aos condutores e este deve ser tido em conta na seleção do veículo e do condutor para a realização de cada percurso;
4. Controlar a velocidade ao longo de todo o percurso e estudar a influência desta na transmissão de VCI aos condutores;
5. Controlar a postura, movimentos e forma de condução dos condutores durante a realização dos percursos, através de filmagens em contínuo durante a medição das VCI nos turnos, para uma posterior análise minuciosa e propor possíveis melhorias.
6. Avaliar a transmissão de VCI pelo encosto do assento, uma vez que também se pode traduzir em efeitos graves na saúde dos condutores e uma vez que o equipamento apenas permitia avaliar dois locais em simultâneo, propõe-se para um próximo estudo uma avaliação de assento e encosto.

7 REFERÊNCIAS

- Barreira, S., Matos, M. L., & Baptista, J. S. (2015). Exposure of urban bus drivers to Whole-Body Vibration. *Occupational Safety and Hygiene III – Arezes et al. (Eds)*, 321-324.
- Blood, R. P., Yost, M. G., E., C. J., & Ching, R. P. (2015). Whole-body Vibration Exposure Intervention among Professional Bus and Truck Drivers: A Laboratory Evaluation of Seat-suspension Designs. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 351-362.
- Blood, R., Ploger, J., Yost, M., Ching, R., & Johnson, P. (2010). Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers. *Journal of Sound and Vibration*, 109-120.
- Bovenzi, M. (2009). Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study. *International archives of occupational and environmental health*, 82(7), 893-917.
- Bovenzi, M., & Hulshof, C. T. (1999). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986 - 1997). *Int Arch Occup Environ Health*, 351- 365.
- Bovenzi, M., & Zadini, A. (1992). Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*, 1048-1059.
- Clarkson, T. (1913). Steam omnibuses. *SAE Technical Papers*. Elsevier B.V.
- Griffin, M. J. (1990). *Handbook of Human Vibration*. Londres: Elsevier Academic Press.
- Inglês, F., Mateus, M., Santos, P., Silva, F., Lages, C., Fradique, J., . . . Silva, P. (Setembro de 2008). Guia Relacre 21. Em *Exposição dos Trabalhadores às vibrações - Apontamentos sobre estimativa das incertezas de medição*. Lisboa: RELACRE.
- ISO2631-1. (2004). *ISO 2631-1: 2004 (Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple Johanning*.
- ISO2631-5. (1997). *NP ISO 2631-1:2007 (Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements)*, International Organization of Standardization).
- ISO8041. (2005). *ISO 8041:2005 (Human response to vibration -- Measuring instrumentation)*.
- Johanning, E. (1991). Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. *Scand J Work Environ Health*, 414-419.
- Jonsson, P. M., Rynell, P. W., Hagberg, M., & Johnson, P. W. (2014). Comparison of whole-body vibration exposures. *Taylor & Francis*, 58, 1133–1142.
- Lehmann, P. (1974). Vibration. *Job Safety Health*, 5-12.

- Lewis, C. A., & Johnson, P. W. (2012). Whole-body vibration exposure in metropolitan. *Occupational Medicine*, 62, 519–524.
- McFarland, R. A. (1954). Human engineering: A new approach to driver efficiency and transport safety. Boston: Elsevier B.V.
- Melo, R. B., & Miguel, A. S. (2000). Occupational Exposure to Whole-body Vibration Among Bus Drivers., (pp. 177-180). Lisboa.
- Miguel, A. S. (2010). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. Porto: Porto Editora.
- O. Okunribido, O., Shimbles, S. J., Magnusson, M., & Pope, M. (2007). City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied Ergonomics*, 38, 29–38.
- Okunribido, O. O., Magnusson, M., & Pope, M. (2006). Delivery drivers and low-back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Industrial Ergonomics*, 265–273.
- Ruiz, R. M., & Muñoz, B. L. (2015). Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Em A. S. Miguel, & P. Arezes, *Vibrações de corpo inteiro: estudo dos níveis de exposição de manobras profissionais de veículos* (Vol. 2). Lisboa: ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho.
- Sekulic, D., Dedovic, V., Rusov, S., & Obradovic, A. (2016). Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 328e339.
- Tamrin, S. B., Yokoyama, K., Jalaludin, J., Aziz, N. A., Jemoin, N., Nordin, R., . . . Abdullah, M. (2007). The Association between Risk Factors and Low Back Pain among Commercial Vehicle Drivers in Peninsular Malaysia: A Preliminary Result. *Industrial Health*, 268-278.
- Thamsuwan, O., Blood, R. P., Ching, R. P., Boyle, L., & Johnson, P. W. (2013). Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low-floor city bus. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9-17.
- Thamsuwan, O., Blood, R. P., Lewis, C., Rynell, P. W., & Johnson, P. W. (2012). Whole Body Vibration Exposure and Seat Effective Amplitude Transmissibility of Air Suspension Seat in Different Bus Designs. *Human Factors and Ergonomics Society*.
- Tiemessen, I. J., Hulshof, C. T., & Frings-Dresen, M. H. (2007). An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 245–256.
- Yasobant, S., Chandran, M., & Reddy, E. M. (2015). Are Bus Drivers at an Increased Risk for Developing Musculoskeletal Disorders? *J Ergonomics*.

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1 – Resultados obtidos com base nas referências bibliográficas

Tabela em Anexo 1. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8) e S_{ed} na literatura com a variação do tipo de percurso.

Autor	Percurso/Tipo de Pavimento	Eixo	RMS ($m.s^{-2}$)	A (8) ($m.s^{-2}$)	S_{ed} (MPa)
(Melo & Miguel, 2000)	Asfalto	x	0,113	-	-
		y	0,180		
		z	0,524		
	calçada	x	0,213	-	-
		y	0,267		
		z	0,343		
	Autocarro parado	x	0,010	-	-
		y	0,019		
		z	0,041		
(Bovenzi, 2009)	-	x	-	0,07 ($\pm 0,02$)	-
		y	-	0,09 ($\pm 0,04$)	-
		z	-	0,30 ($\pm 0,10$)	-
(Lewis & Johnson, 2012)	Ruas de cidade	x	-	0,20 ($\pm 0,05$)	0,71 ($\pm 0,21$)
		y	-	0,21 ($\pm 0,02$)	0,71 ($\pm 0,21$)
		z	-	0,47 ($\pm 0,04$)	0,71 ($\pm 0,21$)
	Lombas	x	-	0,25 ($\pm 0,06$)	0,58 ($\pm 0,2$)
		y	-	0,28 ($\pm 0,02$)	0,58 ($\pm 0,2$)
		z	-	0,46 ($\pm 0,08$)	0,58 ($\pm 0,2$)
	Autoestrada	x	-	0,16 ($\pm 0,06$)	0,42 ($\pm 0,05$)
		y	-	0,17 ($\pm 0,02$)	0,42 ($\pm 0,05$)
		z	-	0,51 ($\pm 0,04$)	0,42 ($\pm 0,05$)
(Thamsuwan, Blood, Ching, Boyle, & Johnson, 2013)	Ruas de cidade	x	-	0,14 ($\pm 0,01$)	-
		y	-	0,11 ($\pm 0,01$)	-
		z	-	0,36 ($\pm 0,01$)	0,45 ($\pm 0,03$)
	Lombas	x	-	0,17 ($\pm 0,01$)	-
		y	-	0,15 ($\pm 0,01$)	-
		z	-	0,36 ($\pm 0,01$)	0,42 ($\pm 0,03$)
	Autoestrada nova	x	-	0,11 ($\pm 0,01$)	-
		y	-	0,11 ($\pm 0,01$)	-
		z	-	0,43 ($\pm 0,01$)	0,29 ($\pm 0,03$)
	Autoestrada antiga	x	-	0,13 ($\pm 0,01$)	-
		y	-	0,12 ($\pm 0,01$)	-
		z	-	0,51 ($\pm 0,01$)	0,30 ($\pm 0,03$)

Tabela em Anexo 2. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8) e SEAT na literatura com a variação do tipo de autocarro.

Autor	Tipo de autocarro	Eixo	RMS (m.s ⁻²)	A (8) (m.s ⁻²)	SEAT
(Thamsuwan, Blood, Lewis, Rynell, & Johnson, 2012)	Autocarros de longas distâncias	x	-	0,28 (±0,02)	92 (3) %
		y		0,25 (±0,02)	
		z - assento		0,38 (±0,01)	
		z- piso		0,42 (±0,01)	
	Autocarro <i>standard</i>	x		0,18 (±0,01)	88 (2) %
		y		0,20 (±0,01)	
		z - assento		0,41 (±0,01)	
		z- piso		0,47 (±0,01)	
	Autocarro articulado	x		0,21 (±0,01)	76 (2) %
		y		0,35 (±0,02)	
		z - assento		0,38 (±0,02)	
		z- piso		0,50 (±0,02)	
(Jonsson, Rynell, Hagberg, & Johnson, 2014)	Autocarro <i>standard</i> + assento s\ suspensão de ar (n=28)	x	-	0,13	96 %
		Y		0,19	
		z – assento		0,34	
		z- piso		0,36	
	Autocarro <i>standard</i> + assento com suspensão de ar (n=15)	X		0,17	92 %
		Y		0,19	
		z – assento		0,32	
		z- piso		0,34	
	Autocarros de longas distâncias c\ suspensão de ar (n=11)	X		0,17	110%
		Y		0,20	
		z – assento		0,32	
		z- piso		0,29	

Tabela em Anexo 3. Valores obtidos para os parâmetros RMS, A(8), S_{ed} e SEAT na literatura com a variação do tipo de percurso e condutor.

Autor	percurso	condutor	RMS (m.s ⁻²)	A (8) (m.s ⁻²)	S _{ed} (MPa)	SEAT (%)
(Barreira, Matos, & Baptista, 2015)	percurso 1	Condutor A	0,341	0,312	0,214	47,3
		Condutor B	0,312	0,284	0,240	-
		Condutor C	0,369	0,337	0,295	60,6
	percurso 2	Condutor A	0,352	0,322	-	56,8
		Condutor B	0,330	0,299	0,256	-
		Condutor C	0,349	0,319	0,211	53,7
	percurso 3	Condutor A	0,286	0,261	0,447	52,4
		Condutor B	0,301	0,275	0,246	54,7
		Condutor C	0,281	0,256	0,258	50,1

Tabela em Anexo 4. Valores obtidos para os parâmetros a_w ($m.s^{-2}$), Dk e SEAT na literatura com a variação do tipo de assento.

Autor	Tipo de autocarro	Tipo de assento	Localização	a_w ($m.s^{-2}$)	Dk	SEAT (%)
(Blood, Ploger, Yost, Ching, & Johnson, 2010)	Autocarros de longas distâncias (High floor bus)	assentos de espuma A	assento	0.41 (± 0.01)	9.01 (± 0.39)	90,4
			piso	0.45 (± 0.01)	14.0 (± 1.06)	
		assentos de espuma B	assento	0.40 (± 0.01)	11.5 (± 0.84)	92,3
			piso	0.43 (± 0.01)	13.3 (± 0.67)	
		assento de silicone	assento	0.40 (± 0.01)	12.1 (± 0.74)	83,6
			piso	0.48 (± 0.01)	12.4 (± 1.10)	

Tabela em Anexo 5. Valores obtidos para os parâmetros A(8) e VDV(8) na literatura com a variação do tipo de assento, percurso e peso dos condutores.

Autor	Tipo de percurso	peso	Tipo de assento	A8 ($m.s^{-2}$)	VDV (8) ($m.s^{-1.75}$)
(Blood, Yost, E., & Ching, 2015)	Ruas de cidade	Leve (<102 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0,44 (± 0.01)	0,34 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0.26 (± 0.01)	0,28 (± 0.01)
		Pesado (>128 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0.41 (± 0.01)	0.31 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0.25 (± 0.00)	0.29 (± 0.01)
	Autoestradas	Leve (<102 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0,45 (± 0.01)	0.27 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0,25 (± 0.00)	0.17 (± 0.00)
		Pesado (>128 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0.43 (± 0.01)	0.28 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0.25 (± 0.01)	0.17 (± 0.00)
	Ruas com piso irregular	Leve (<102 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0.50 (± 0.02)	0.30 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0.30 (± 0.01)	0.25 (± 0.01)
		Pesado (>128 kg)	<i>air ride suspension seat</i>	0.48 (± 0.01)	0.32 (± 0.01)
			<i>EM – active suspension seat</i>	0.29 (± 0.01)	8.25 (± 0.00)

8.2 Anexo 2 – Folha de Campo do percurso C

As folhas de campo foram elaboradas pela Dra. Maria Luisa Matos, o Eng. Paulo Costa e a Eng. Luciana Pedrosa.

FEUP - Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais (PROA)

FICHA DE RECOLHA DE DADOS:

PROJETO: Monitorização de ruído e vibrações em motoristas de autocarros urbanos

NOME:

REFERÊNCIA INTERNA:

MATRÍCULA DO AUTOCARRO:

DIA DA SEMANA:

DATA:

LOCAL:

LINHA: C

Empresa	
Equipamento de medição de ruído	Sonómetro 01 dB Solo
Equipamento de medição de vibrações	SV6 da Svantek

Recolha de dados do condutor

Caraterísticas do condutor			
Identificação			
Género			
Idade (anos)			
Peso (kg) inicial / final da jornada de trabalho			
Altura (cm)			
Escolaridade			
Categoria Profissional			
Tempo de serviço na empresa (anos)			
Tempo de serviço no posto de trabalho em estudo (anos)			
Profissão anterior			
Tipos de veículos já conduzidos			
Queixas de saúde que apresenta			
Patologias clínicas antes de exercer esta profissão	Ruído: ()	Vibrações: ()	
Patologias clínicas decorrentes da atividade que exerce	Ruído: ()	Vibrações: ()	
Problemas oftalmológicos			
Uso de óculos / lentes / graus			
Uso de medicação	Não: ()	Sim: ()	Qual:
Evidência de sintomas relacionados com a motricidade fina			
Evidência de sintomas de lesões musculoesqueléticas			
Atividade física (< 1 vez por semana, 2-3 vezes por semana, > ou igual a 3 vezes por semana, todos os dias...)			
Tempo de exposição a vibrações/ruído (anos)			
Perceção ao desconforto causado pela vibração/ruído	Forte: ()	Média: ()	Fraca: ()
Formação em HST	Não: ()	Sim: ()	Periodicidade:

Recolha de dados das condições de trabalho

Caraterísticas da jornada diária laboral (ocupacionais)			
Horário de trabalho (h/dia)			
Período de descanso (h)			
Postura do trabalhador			
Ajuste do assento antes de iniciar a viagem	Não: ()	Sim: ()	Posição:
Fatores psicológicos (apoio ao trabalhador, satisfação do trabalhador...)			
Alimentação durante o percurso: Tipo e peso			

Caraterísticas do veículo			
Tipo (gás natural ou diesel) / ar condicionado			
Marca			
Modelo			
Número			
Peso (kg)			
Comprimento (m)			
Ano de fabrico			
Ano de entrada ao serviço da empresa			
Estado geral do veículo			
Tipo de assento	Esteban FA 416: ()	ISRI: ()	Min-Bus: ()
Condições do assento (suspensão, mecanismos de controlo, apoio lombar)			
Capacidade	Sentado: ()	De pé: ()	

Recolha de dados do percurso de 1ª ida

Caraterísticas do percurso (C1)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
BOLHÃO - MERCADO	
LARGO DO PADRÃO	
CAMPO 24 DE AGOSTO	
BONFIM	
GODIM	
PR. DAS FLORES	
AV. 25 DE ABRIL	
FONTE VELHA	
ESTÁDIO DO DRAGÃO	
CORUJEIRA	
FERR. DOS SANTOS	
FALCÃO	
CARTES	
ESCOLAS	
S. ROQUE	
TV. DA PONTE	
S. CAETANO	
SOUTELO BAIXO	
OUTEIRINHO	
INFANTE SANTO	
ALTO DE SOUTELO	
DR. AMÉRICO COSTA	
CARVALHA	
CARVALHA DE BAIXO	
VÁRZEA	
S.TA OVAIA	
S.TA CRUZ	
S.TA EULÁLIA	
CAPITÃO MOURA	
VILAR	
TARALHÃO	
VINHAL	
IGREJA CAPUCHINHOS	
25 DE ABRIL	
COMBATENTES G.GUERRA	
GONDOMAR (CÂMARA)	
B. V. GONDOMAR	
MONTE CRASTO	
GONDOMAR (SOUTO)	

Recolha de dados do percurso de 1ª volta

Caraterísticas do percurso (C2)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
GONDOMAR (SOUTO)	
MONTE CRASTO	
B. V. GONDOMAR	
25 DE ABRIL	
IGREJA CAPUCHINHOS	
VINHAL	
TARALHÃO	
VILAR	
CAPITÃO MOURA	
S.TA EULÁLIA	
S.TA CRUZ	
S.TA OVAIA	
VÁRZEA	
CARVALHA DE BAIXO	
CARVALHA	
DR. AMÉRICO COSTA	
ALTO DE SOUTELO	
INFANTE SANTO	
OUTEIRINHO	
SOUTELO BAIXO	
S. CAETANO	
MEIRAL	
S. ROQUE	
S. ROQUE G. BARROS	
ILHÉU	
CARTES	
CHAVES OLIVEIRA	
CORUJEIRA	
ESTÁDIO DO DRAGÃO	
FONTE VELHA	
C. SAÚDE CAMPANHÃ	
PR. DAS FLORES	
EIRINHAS	
BONFIM	
CAMPO 24 DE AGOSTO	
D. JOÃO IV	
BOLHÃO (METRO)	
BOLHÃO - MERCADO	

Recolha de dados do percurso de 2ª ida

Caraterísticas do percurso (C1)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
BOLHÃO - MERCADO	
LARGO DO PADRÃO	
CAMPO 24 DE AGOSTO	
BONFIM	
GODIM	
PR. DAS FLORES	
AV. 25 DE ABRIL	
FONTE VELHA	
ESTÁDIO DO DRAGÃO	
CORUJEIRA	
FERR. DOS SANTOS	
FALCÃO	
CARTES	
ESCOLAS	
S. ROQUE	
TV. DA PONTE	
S. CAETANO	
SOUTELO BAIXO	
OUTEIRINHO	
INFANTE SANTO	
ALTO DE SOUTELO	
DR. AMÉRICO COSTA	
CARVALHA	
CARVALHA DE BAIXO	
VÁRZEA	
S.TA OVAIA	
S.TA CRUZ	
S.TA EULÁLIA	
CAPITÃO MOURA	
VILAR	
TARALHÃO	
VINHAL	
IGREJA CAPUCHINHOS	
25 DE ABRIL	
COMBATENTES G.GUERRA	
GONDOMAR (CÂMARA)	
B. V. GONDOMAR	
MONTE CRASTO	
GONDOMAR (SOUTO)	

Recolha de dados do percurso de 2ª volta

Caraterísticas do percurso (C2)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
GONDOMAR (SOUTO)	
MONTE CRASTO	
B. V. GONDOMAR	
25 DE ABRIL	
IGREJA CAPUCHINHOS	
VINHAL	
TARALHÃO	
VILAR	
CAPITÃO MOURA	
S.TA EULÁLIA	
S.TA CRUZ	
S.TA OVAIA	
VÁRZEA	
CARVALHA DE BAIXO	
CARVALHA	
DR. AMÉRICO COSTA	
ALTO DE SOUTELO	
INFANTE SANTO	
OUTEIRINHO	
SOUTELO BAIXO	
S. CAETANO	
MEIRAL	
S. ROQUE	
S. ROQUE G. BARROS	
ILHÉU	
CARTES	
CHAVES OLIVEIRA	
CORUJEIRA	
ESTÁDIO DO DRAGÃO	
FONTE VELHA	
C. SAÚDE CAMPANHÃ	
PR. DAS FLORES	
EIRINHAS	
BONFIM	
CAMPO 24 DE AGOSTO	
D. JOÃO IV	
BOLHÃO (METRO)	
BOLHÃO - MERCADO	

Recolha de dados: vibração e ruído

Condições da recolha de dados		
Localização dos sensores do equipamento de vibração		Superfície do assento e piso do veículo junto ao motorista
Calibração inicial do sonómetro	Hora	
	Correção	
Hora de início da medição		
Hora de fim da medição		
Tempo total de medição		
Tempo total de medição vibração		
Tempo total de medição ruído		
Nº de registo medição vibração		
Nº de registo medição ruído		

Observações:

8.3 Anexo 3 – Folha de Campo do percurso D

As folhas de campo foram elaboradas pela Dra. Maria Luisa Matos, o Eng. Paulo Costa e a Eng. Luciana Pedrosa.

FEUP - Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais (PROA)

FICHA DE RECOLHA DE DADOS:

PROJETO: Monitorização de ruído e vibrações em motoristas de autocarros urbanos

NOME:

REFERÊNCIA INTERNA:

MATRÍCULA DO AUTOCARRO:

DIA DA SEMANA:

DATA:

LOCAL:

LINHA: D

Empresa	
Equipamento de medição de ruído	Sonómetro 01 dB Solo
Equipamento de medição de vibrações	SV6 da Svantek

Recolha de dados do condutor

Caraterísticas do condutor			
Identificação			
Género			
Idade (anos)			
Peso (kg) inicial / final da jornada de trabalho			
Altura (cm)			
Escolaridade			
Categoria Profissional			
Tempo de serviço na empresa (anos)			
Tempo de serviço no posto de trabalho em estudo (anos)			
Profissão anterior			
Tipos de veículos já conduzidos			
Queixas de saúde que apresenta			
Patologias clínicas antes de exercer esta profissão	Ruído: ()	Vibrações: ()	
Patologias clínicas decorrentes da atividade que exerce	Ruído: ()	Vibrações: ()	
Problemas oftalmológicos			
Uso de óculos / lentes / graus			
Uso de medicação	Não: ()	Sim: ()	Qual:
Evidência de sintomas relacionados com a motricidade fina			
Evidência de sintomas de lesões musculoesqueléticas			
Atividade física (< 1 vez por semana, 2-3 vezes por semana, > ou igual a 3 vezes por semana, todos os dias...)			
Tempo de exposição a vibrações/ruído (anos)			
Perceção ao desconforto causado pela vibração/ruído	Forte: ()	Média: ()	Fraca: ()
Formação em HST	Não: ()	Sim: ()	Periodicidade:

Recolha de dados das condições de trabalho

Caraterísticas da jornada diária laboral (ocupacionais)			
Horário de trabalho (h/dia)			
Período de descanso (h)			
Postura do trabalhador			
Ajuste do assento antes de iniciar a viagem	Não: ()	Sim: ()	Posição:
Fatores psicológicos (apoio ao trabalhador, satisfação do trabalhador...)			
Alimentação durante o percurso: Tipo e peso			

Caraterísticas do veículo			
Tipo (gás natural ou diesel) / ar condicionado			
Marca			
Modelo			
Número			
Peso (kg)			
Comprimento (m)			
Ano de fabrico			
Ano de entrada ao serviço da empresa			
Estado geral do veículo			
Tipo de assento	Esteban FA 416: ()	ISRI: ()	Min-Bus: ()
Condições do assento (suspensão, mecanismos de controlo, apoio lombar,..)			
Capacidade	Sentado: ()		De pé: ()

Recolha de dados do percurso de 1ª ida

Caraterísticas do percurso (D1)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
BOLHÃO	
GONÇALO CRISTÓVÃO	
FONTINHA	
DOZE CASAS	
MARQUÊS	
PERPÉTUO SOCORRO	
COMBATENTES	
PIRES DE LIMA	
SILVA TAPADA	
LUIS WOODHOUSE	
CONDE FERREIRA	
BARROCAS	
S.TA JUSTA	
ANTÓNIO COELHO	
ALTO DA AREOSA	
AREOSA	
AREOSA (MERCADO)	
AREOSA (FEIRA)	
TRIANA	
GIESTA	
CRESPO	
FORNO	
BRÁS OLEIRO	
CORIM	
CORISCOS	
PÍCUA	
ALTO DA MAIA	
JÚLIO DINIS	
MEILÃO	
MIRANTE	
GANDRA	
CAMÉLIAS	
MAIASHOPPING	
RODRIGUES FREITAS	
RIO LEÇA	
SIMÕES LOPES	
TRAVAGEM	

Recolha de dados do percurso de 1ª volta

Caraterísticas do percurso (D2)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
TRAVAGEM	
RIO LEÇA	
RODRIGUES FREITAS	
MAIASHOPPING	
CAMELIAS	
GANDRA	
MIRANTE	
MEILÃO	
ALTO DA MAIA	
PÍCUA	
CORISCOS	
CASA DO CORIM	
CORIM	
BRÁS OLEIRO	
S. GEMIL	
FORNO	
CRESPO	
GIESTA	
TRIANA	
AREOSA (FEIRA)	
AREOSA (MERCADO)	
AREOSA	
ALTO DA AREOSA	
ANTÓNIO COELHO	
S.TA JUSTA	
BARROCAS	
CONDE FERREIRA	
LUIS WOODHOUSE	
SILVA TAPADA	
PIRES DE LIMA	
COMBATENTES	
PERPÉTUO SOCORRO	
MARQUÊS	
DOZE CASAS	
FONTINHA	
BOLHÃO	

Recolha de dados do percurso de 2ª ida

Caraterísticas do percurso (D1)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
BOLHÃO	
GONÇALO CRISTÓVÃO	
FONTINHA	
DOZE CASAS	
MARQUÊS	
PERPÉTUO SOCORRO	
COMBATENTES	
PIRES DE LIMA	
SILVA TAPADA	
LUIS WOODHOUSE	
CONDE FERREIRA	
BARROCAS	
S.TA JUSTA	
ANTÓNIO COELHO	
ALTO DA AREOSA	
AREOSA	
AREOSA (MERCADO)	
AREOSA (FEIRA)	
TRIANA	
GIESTA	
CRESPO	
FORNO	
BRÁS OLEIRO	
CORIM	
CORISCOS	
PÍCUA	
ALTO DA MAIA	
JÚLIO DINIS	
MEILÃO	
MIRANTE	
GANDRA	
CAMÉLIAS	
MAIA SHOPPING	
RODRIGUES FREITAS	
RIO LEÇA	
SIMÕES LOPES	
TRAVAGEM	

Recolha de dados do percurso de 2ª volta

Caraterísticas do percurso (D2)	
Tipos de pavimento, mudança de piso, estado de conservação do piso, encontrados no decorrer do percurso	Empedrado (E), Asfalto (A), sem cobertura (SC) piso escorregadio (PE) Buracos (B), Declives (D), Elevações (EL),
Taxa de ocupação do autocarro	Vazio (V); médio (M) ou cheio (C)
Travagem	Brusca (TB), Semáforo (S), Paragem (P), congestionamento (CO)
Caraterísticas do trânsito	Normal (N) ou intenso (I)
Velocidade média de circulação (km/h)	
Disposição dos passageiros	Todos sentados (TS); alguns de pé (Pé); muitos em pé (MPé)
Paragens da linha (assinalar aquelas onde houve efetivamente paragem e hora exata em que isso aconteceu)	
TRAVAGEM	
RIO LEÇA	
RODRIGUES FREITAS	
MAIASHOPPING	
CAMÉLIAS	
GANDRA	
MIRANTE	
MEILÃO	
ALTO DA MAIA	
PÍCUA	
CORISCOS	
CASA DO CORIM	
CORIM	
BRÁS OLEIRO	
S. GEMIL	
FORNO	
CRESPO	
GIESTA	
TRIANA	
AREOSA (FEIRA)	
AREOSA (MERCADO)	
AREOSA	
ALTO DA AREOSA	
ANTÓNIO COELHO	
S.TA JUSTA	
BARROCAS	
CONDE FERREIRA	
LUIS WOODHOUSE	
SILVA TAPADA	
PIRES DE LIMA	
COMBATENTES	
PERPÉTUO SOCORRO	
MARQUÊS	
DOZE CASAS	
FONTINHA	
BOLHÃO	

Recolha de dados: vibração e ruído

Condições da recolha de dados		
Localização dos sensores do equipamento de vibração		Superfície do assento e piso do veículo junto ao motorista
Calibração inicial do sonómetro	Hora	
	Correção	
Hora de início da medição		
Hora de fim da medição		
Tempo total de medição		
Tempo total de medição vibração		
Tempo total de medição ruído		
Nº de registo medição vibração		
Nº de registo medição ruído		

Observações:

8.4 Anexo 4 –Valores intermédios do cálculo das Incertezas do A(8) para todos os condutores

Percorso C

Tabela em Anexo 6. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Conductor G.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	$u_y^2=(u_x \times C_i)^2$	n
Repetibilidade das Medições	0,230	$1,75 \times 10^{-1}$	$5,90 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$2,90 \times 10^{-5}$	879
Sistema de Medição	-	-	$7,98 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$5,31 \times 10^{-5}$	50
Duração da Exposição	-	-	$1,54 \times 10^{-1}$	$1,58 \times 10^{-2}$	$5,90 \times 10^{-6}$	50
Arredondamento	-	-	$2,89 \times 10^{-3}$	1,00	$8,33 \times 10^{-6}$	50
					v_{eff}	156
					$\sum u_y^2$	$9,63 \times 10^{-5}$
					u_y	$9,81 \times 10^{-3}$
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	$1,62 \times 10^{-2}$
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 7. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Conductor I.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	$u_y^2=(u_x \times C_i)^2$	n
Repetibilidade das Medições	0,297	$2,45 \times 10^{-1}$	$8,01 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$5,35 \times 10^{-5}$	932
Sistema de Medição	-	-	$1,03 \times 10^{-2}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$8,80 \times 10^{-5}$	50
Duração da Exposição	-	-	$1,54 \times 10^{-1}$	$2,03 \times 10^{-2}$	$9,78 \times 10^{-6}$	50
Arredondamento	-	-	$2,89 \times 10^{-3}$	1,00	$8,33 \times 10^{-6}$	50
					v_{eff}	158
					$\sum u_y^2$	$1,60 \times 10^{-4}$
					u_y	$1,26 \times 10^{-2}$
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	$2,09 \times 10^{-2}$
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 8. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor J.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,160	1,73×10 ⁻¹	5,62×10 ⁻³	6,63×10 ⁻¹	1,39×10 ⁻⁵	945
Sistema de Medição	-	-	5,53×10 ⁻³	6,63×10 ⁻¹	1,35×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	7,95×10 ⁻³	1,50×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					v_{eff}	263
					$\sum u_y^2$	3,72×10 ⁻⁵
					u_y	6,10×10 ⁻³
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	1,01×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,01

Tabela em Anexo 9. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor K.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,226	1,61×10 ⁻¹	5,34×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	2,38×10 ⁻⁵	910
Sistema de Medição	-	-	7,83×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	5,11×10 ⁻⁶	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,55×10 ⁻²	5,68×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					v_{eff}	144
					$\sum u_y^2$	8,89×10 ⁻⁵
					u_y	9,42×10 ⁻³
					k	1,66
					$U = k \times u_y$	1,56×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 10. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor L.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	$u_y^2=(u_x \times C_i)^2$	n
Repetibilidade das Medições	0,261	$2,45 \times 10^{-1}$	$7,91 \times 10^{-1}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$5,22 \times 10^{-5}$	956
Sistema de Medição	-	-	$9,04 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$6,81 \times 10^{-5}$	50
Duração da Exposição	-	-	$1,54 \times 10^{-1}$	$1,79 \times 10^{-2}$	$7,57 \times 10^{-6}$	50
Arredondamento	-	-	$2,89 \times 10^{-3}$	1,00	$8,33 \times 10^{-6}$	50
					v_{eff}	189
					$\sum u_y^2$	$1,36 \times 10^{-4}$
					u_y	$1,17 \times 10^{-2}$
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	$1,93 \times 10^{-2}$
					Incerteza (U)	0,02

Percurso D

Tabela em Anexo 11. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor A.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	$u_y^2=(u_x \times C_i)^2$	n
Repetibilidade das Medições	0,222	$1,92 \times 10^{-1}$	$6,37 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$3,38 \times 10^{-5}$	910
Sistema de Medição	-	-	$7,70 \times 10^{-3}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$4,94 \times 10^{-5}$	50
Duração da Exposição	-	-	$1,54 \times 10^{-1}$	$1,52 \times 10^{-2}$	$5,48 \times 10^{-6}$	50
Arredondamento	-	-	$2,89 \times 10^{-3}$	1,00	$8,33 \times 10^{-6}$	50
					v_{eff}	181
					$\sum u_y^2$	$9,69 \times 10^{-5}$
					u_y	$9,85 \times 10^{-3}$
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	$1,63 \times 10^{-2}$
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 12. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor B.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,207	1,53×10 ⁻¹	5,09×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	2,16×10 ⁻⁵	902
Sistema de Medição	-	-	7,18×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	4,30×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,42×10 ⁻²	4,78×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					ν_{eff}	153
					$\sum u_y^2$	7,77×10 ⁻⁵
					u_y	8,82×10 ⁻³
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	1,46×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,01

Tabela em Anexo 13. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor C.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,218	1,96×10 ⁻¹	6,48×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	3,50×10 ⁻⁵	917
Sistema de Medição	-	-	7,56×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	4,77×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,50×10 ⁻²	5,30×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					ν_{eff}	190
					$\sum u_y^2$	9,63×10 ⁻⁵
					u_y	9,82×10 ⁻³
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	1,62×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 14. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor D.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,234	1,86×10 ⁻¹	6,21×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	3,21×10 ⁻⁵	898
Sistema de Medição	-	-	8,10×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	5,47×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,60×10 ⁻²	6,08×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					v_{eff}	162
					$\sum u_y^2$	1,01×10 ⁻⁴
					u_y	1,01×10 ⁻²
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	1,66×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,02

Tabela em Anexo 15. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor E.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,200	1,54×10 ⁻¹	5,09×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	2,16×10 ⁻⁵	917
Sistema de Medição	-	-	6,94×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	4,02×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,37×10 ⁻²	4,46×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					v_{eff}	161
					$\sum u_y^2$	7,45×10 ⁻⁵
					u_y	8,63×10 ⁻³
					k	1,65
					$U = k \times u_y$	1,43×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,01

Tabela em Anexo 16. Valores das incertezas do parâmetro A(8) para o Condutor F.

Componente	RMS max m.s ⁻²	S	u(x)	Ci	uy ² =(ux x Ci) ²	n
Repetibilidade das Medições	0,221	1,65×10 ⁻¹	5,54×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	2,56×10 ⁻⁵	888
Sistema de Medição	-	-	7,64×10 ⁻³	9,13×10 ⁻¹	4,87×10 ⁻⁵	50
Duração da Exposição	-	-	1,54×10 ⁻¹	1,51×10 ⁻²	5,41×10 ⁻⁶	50
Arredondamento	-	-	2,89×10 ⁻³	1,00	8,33×10 ⁻⁶	50
					v_{eff}	155
					∑ u_y²	8,80×10 ⁻⁵
					u_y	9,38×10 ⁻³
					k	1,65
					U = k x u_y	1,55×10 ⁻²
					Incerteza (U)	0,02